

126
1ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN
CONTROL DE TEMPERATURA BASADO
EN MICROPROCESADOR Y UNA
APLICACION EN UNA EXTRUSORA
DE POLIESTIRENO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
URIEL SCHULLER SLOMIANSKI

DIRECCION DE TESIS :

ING. ROBERTO MANDUJANO WILD

ING. GREGORIO BEITMAN BRENER



MEXICO, D. F.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El Soberano, que no tenía sueño, se dispuso de buen grado a escuchar el relato de Scherezada. Y ésta, aquella primera noche, comenzó la historia siguiente: ...” -De Las Mil y Una Noches.

PROLOGO

“El desarrollo de las ciencias llevó al hombre hacia los túneles de las disciplinas especializadas. Cuanto más esté en su conocimiento, más perdía de vista el conjunto del mundo y a sí mismo, hundiéndose en lo que Heidegger, discípulo de Husserl, llamaba con una expresión hermosa y casi mágica, “el olvido del ser”. -Milán Kundera, “El Arte de la Novela”.

Gracias a que el hombre tiene la capacidad de aprender de las experiencias de otros, ha alcanzado los avances científicos, tecnológicos y filosóficos de nuestra época. En los últimos treinta años, se han registrado más descubrimientos e inventos que en los treinta siglos anteriores. Y esto no es una casualidad, es el hecho de que un avance trae consigo el principio del siguiente, acelerando cada vez más la evolución tecnológica.

Las estructuras sociales recientes constantemente los golpes de esa vertiginosa evolución que vivimos, los pensamientos políticos de los gobiernos cambian constantemente y una situación crítica en cualquier parte del mundo afecta al resto de este.

Se ha comentado en muchas ocasiones que lo que vivimos en la actualidad es una nueva revolución industrial, pero desde un punto de vista estricto no lo puede ser, ya que una revolución implica grandes cambios seguidos de un prolongado periodo de estabilidad. Por las características de los cambios mismos, estos se seguirán dando por mucho tiempo más y en lugar de adecuarse a las estructuras surgidas de los cambios, es necesario adecuarse al cambio.

En tales circunstancias, la formación que todo individuo debe vivir ahora no tiene nada que ver con los métodos educativos del pasado. Hace años, cuando los cambios se generaban con mayor lentitud, el enfoque educativo estaba dirigido hacia la formación de oficios, donde el maestro enseñaba al alumno la forma de usar las herramientas del mismo modo que su maestro le enseñó a él; ahora, en un mundo donde las herramientas cambian constantemente, no se debe enseñar el uso de los instrumentos, sino a entender su funcionamiento y poderse acoplar a los siguientes cambios por llegar.

Este trabajo no pretende traer grandes avances a la humanidad, más bien es un intento por sentirse parte de ella, y ser partícipe de sus vivencias. Con esta investigación, se demuestra que la única forma de enfrentar cualquier problema es esforzándose y perseverando.

INDICE

• Agradecimientos.	iii
• Prólogo.	iv
• Índice.	v
• Introducción General.	x
• 1 ANTECEDENTES.	1
• 1.1 Introducción.	1
• 1.2 Definiciones .	1
• 1.3 Condiciones del Mercado Nacional.	2
• 1.4 Carencias Actuales, Justificación y Características.	5
• 1.5 Objetivos, Alcance y Limitaciones.	7
• 1.6 Bibliografía.	8
• 2 TRANSDUCTORES TERMICOS.	9
• 2.1 Introducción.	9
• 2.2 Termometría.	9
• 2.3 Principios Fundamentales de los Termopares.	14
• 2.4 El Termopar tipo "J" Hiero- Constantán.	20
• 2.5 Bibliografía	22
• 3 IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO	23
• 3.1 Introducción .	23
• 3.2 Selección de la Arquitectura.	23
• 3.3 Adquisición de Datos.	27
• 3.4 Fase de Compensación.	29
• 3.5 Convertidor Analógico Digital.	34
• 3.6Arquitectura del Sistema.	35
- 3.6.1 El Microprocesador Z80.	35
- 3.6.2 Decodificación, Puertos y Memoria.	41
3.6.2.1 Mapa de memoria.	41
3.6.2.2 Mapa de Periféricos .	43
3.6.2.3 Decodificación.	44
- 3.6.3El Circuito Temporizador y de Reloj.	46
- 3.6.4 El Display y el Teclado. (La Tarjeta Frontal) .	

- 3.6.5 El Watchdog.	48
- 3.6.6 La Fuente de Poder.	53
- 3.6.7 La Sección de Salida.	55
• 3.7 Bibliografía.	57
• 4 PRINCIPIOS BASICOS DE CONTROL.	59
• 4.1 Introducción.	59
• 4.2 Clasificación de los Controles Automáticos.	59
• 4.3 Elementos de Controles Automáticos Industriales.	60
• 4.4 Controles Autoactuantes.	61
• 4.5 Acciones de Control.	61
• 4.6 Acción de dos posiciones, de Sí-No o de ON-OFF.	61
• 4.7 Acción de Control Proporcional.	63
• 4.8 Acción de Control Integral.	64
• 4.9 Acción de control Proporcional e Integral.	65
• 4.10 Acción de Control Proporcional y Derivativa.	67
• 4.11 Acción de Control Proporcional Integral y Derivativa.	67
• 4.12 Efectos del Elemento de Medición en el Comportamiento del Sistema.	68
• 4.13 El Control Digital.	68
• 4.14 Los Algoritmos de Control Digital.	69
• 4.15 La Salida del Control Digital.	70
• 4.16 El Algoritmo de Control Proporcional del Sistema.	71
• 4.17 Bibliografía.	74
• 5 DISEÑO DEL FIRMWARE.	75
• 5.1 Introducción.	75
• 5.2 Secuencia del Programa del Controlador.	75
• 5.3 Sección de Equivalencias y Asignaciones.	79
• 5.4 Inicialización de Variables.	79
• 5.5 Reloj y Programación de los Temporizadores.	82
- 5.5.1 Inicialización del Reloj.	82
- 5.5.2 Programación de Temporizadores.	84
- 5.5.3 Chequeo de los Temporizadores.	86
- 5.5.4 Subrutinas de Tiempo Adicionales.	86
• 5.6 Autopruebas	87
- 5.6.1 Justificación de Las Autopruebas.	87
- 5.6.2 Prueba de Display.	87
- 5.6.3 Prueba de Memoria RAM.	89

• 5.6.4 Pruebas de Respaldo.	90
• 5.7 Pruebas de Monitoreo Constante.	94
• 5.8 Los Mensajes de Error.	95
• 5.9 Subrutinas de Despliegue de Información.	96
• 5.9.1 Despliegue de Dígitos y Caracteres.	96
• 5.9.2 Manejo del Punto Decimal.	99
• 5.9.3 Despliegue de Datos.	100
• 5.9.4 Clasificación de los Diferentes Tipos de Datos Desplegables.	101
• 5.9.5 Selección del Tipo de Formato a Desplegar.	102
• 5.9.6 Los Datos Numéricos en Formato Normal.	104
• 5.9.7 Presentación de los Datos Numéricos Desplazados.	107
• 5.9.8 Presentación de los Datos con Formato ENC-APA.	107
• 5.9.9 Conversión de Binario a BCD.	108
• 5.9.10 Manejo de valores Signados.	110
• 5.9.11 Conversión del Código BCD al Código de Siete Segmentos.	110
• 5.10 Decodificación del Teclado.	111
• 5.11 Reloj de Seguridad por Modo de Despliegue.	115
• 5.12 Estado Actual de Despliegue.	115
• 5.13 Aceleramiento del Teclado.	116
• 5.14 Botón de Modo.	117
• 5.15 Botones de Avance y Retroceso de Variables.	117
• 5.16 Botones de Incremento y Decremento de Valores.	118
• 5.17 Botón de Grabación de Dato.	120
• 5.18 Conversión Analógico-Digital.	120
• 5.19 Control.	122
• 5.20 Manejo de Alarmas.	123
• 5.21 Salida de Datos.	124
• 5.22 La Rutina del Watchdog.	125
• 5.23 Asignación de Valores Máximo y Mínimo.	125
• 5.24 Subrutinas Auxiliares.	126
• 5.25 La Multiplicación.	126
• 5.26 La División.	131
• 5.27 Bibliografía.	134
• 6. APLICACIONES, SIMULACION Y RESULTADOS.	135
• 6.1 Introducción.	135
• 6.2 Aplicación del Sistema Diseñado.	135
• 6.3 Simulación de un Proceso de Extrusión de Poliestireno.	137

• 6.4 El Poliestireno.	138
• 6.5 La Extrusión y el Granulado.	140
• 6.6 La Simulación.	141
• 6.7 Programación del Controlador.	143
• 6.8 Instalación.	143
• 6.9 Resultados	145
• 6.10 Bibliografía.	145
• CONCLUSIONES.	C1
• Introducción.	C1
• Resumen.	C1
• Conclusiones.	C3
• APENDICES	A1
• A1 Estándares.	A2
• A1.1 Estándares: Escala Internacional de Temperatura.	A2
• Tabla A-1. Puntos primarios para la Esc. Intern. de Temp. de 1948.	A2
• Tabla A-2. Puntos Fijos Secund. en la Esc. Intern. de Temp. de 1948.	A3
• TABLA A-3. Proced. de Interpol. para la Esc. Intern. de Temp. de 1948.	A4
• A1.2 El Termopar "J" Hierro - Constantan SAMA.	A6
• A 2. Información Técnica de Controladores Comerciales	A7
• A2.1 EL UDC 3000 de HONEYWELL	A8
• A2.2 El UDC 5000 de HONEYWELL.	A9
• A2.3 Clasificación de algunos PLC'S Comerciales.	A10
• A3. Especificaciones de Diseño del Sistema.	A11
• A3.1 Especificaciones Eléctricas.	A11
• A3.2 Condiciones de Operación.	A12
• A4. Hojas de Datos Técnicos de los Circuitos Utilizados.	A13
• A4.1 ULN2003A	A14
• A4.2 TIP 2N2955	A15
• A4.3 OP-27	A16
• A4.4 Termómetro. de Resistencia Eléctrica.	A17
• A4.5 Termistores.	A18
• A4.6 Termopares.	A19

• A5. Diagramas Esquematicos de los Circuitos.	A20
• A6. Instrucciones del Microprocesador Z80.	A21
• BIBLIOGRAFIA GENERAL.	A22
• Libros de Texto.	A22
• Manuales y Catálogos.	A23
• Equipo Utilizado.	A24
• Software.	A25

INTRODUCCION GENERAL

Prácticamente, todos los procesos industriales modernos por su complejidad y precisión requieren de sistemas que controlen las variables en forma eficiente, segura y con muy bajo índice de error.

La temperatura es una de las variables de proceso que con mayor frecuencia se requiere controlar, por eso, ha sido esta la base para el diseño de muchos sistemas de control que aunque posteriormente generalicen su uso a otras variables, han mantenido sus normas y estándares como base del diseño.

En este texto se recopila la información bibliográfica (tanto práctica como teórica), así como los procedimientos realizados para la elaboración del controlador industrial microprocesado, los resultados obtenidos junto con documentación de las experiencias adquiridas.

El contenido de esta tesis se organizó del siguiente modo:

El capítulo 1, presenta un marco teórico dentro del cual se elaboró el sistema, la situación del mercado de controladores industriales, describiendo algunas de las características de los existentes, justificando así este trabajo.

El capítulo 2, es un recuento de los diferentes tipos de transductores térmicos existentes haciendo, énfasis en el termopar como transductor seleccionado para la medición de la temperatura en el controlador.

El capítulo 3 es una recopilación de información técnica, describe en forma clara cada una de las partes que comprenden al sistema, comenzando con el amplificador de instrumentación usado para acoplar la señal del termopar al convertidor analógico digital, continuando con este para posteriormente describir la arquitectura de la tarjeta principal del equipo, que reúne al microprocesador, temporizadores, puertos, memorias, decodificadores y reloj. Este capítulo está enfocado principalmente al hardware del controlador. La descripción del programa que lo controla se desarrolla más adelante.

El capítulo 4, reúne información sobre los diferentes tipos de control ejemplificando cada uno de ellos y profundizando en el tipo de control seleccionado para usarse en el equipo.

En esta sección se explica el algoritmo utilizado para controlar en forma proporcional a través de relevadores.

El capítulo 5, describe cada una de las subrutinas desarrolladas para gobernar al hardware del controlador. Muestra una tabla de las variables utilizadas, un listado de las subrutinas y se presentan los diagramas de flujo que explican la secuencia del programa.

En el capítulo 6 se habla de las aplicaciones que este controlador puede tener, y profundiza en el caso del control de temperatura de una máquina de

extrusión, específicamente para el granulado de poliestireno, se explica la forma en la que se simuló el proceso descrito y se detallan los resultados obtenidos. El capítulo concluye con una discusión de los resultados, como una evaluación de la calidad del control realizado sobre el proceso, para definir si se cumplieron o no con los objetivos esperados.

Los apéndices, reúnen información gráfica o técnica para ser consultada rápidamente.

Apéndice 1.-Estándares en la medición de la temperatura

Apéndice 2.-Información Técnica de controladores comerciales.

Apéndice 3.-Especificaciones de Diseño del Sistema.

Apéndice 4.-Hojas de Datos Técnicos de los Circuitos no comunes Utilizados en el diseño del equipo.

Apéndice 5.-Diagramas Esquemáticos del Controlador.

Apéndice 6.- Instrucciones del Microprocesador Z80.

Se considera que por las características de la investigación, no es conveniente documentar únicamente la bibliografía consultada, por lo que se incluye también, información de los equipos que se usaron, y del software aplicado para la realización del proyecto, así, el autor pretende colaborar con aquellos que deseen profundizar en el tema.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES.

1.1 Introducción.

En la Industria, el control de temperatura ha sido siempre fundamental para casi todos los procesos; en cualquier lugar donde exista una caldera, un horno, o equipos semejantes, es necesario contar con un sistema de control para asegurar así una producción eficiente y de buena calidad.

El presente capítulo define conceptos usuales en el resto del texto, se informa sobre el estado general en el que se encuentra el mercado nacional de controladores industriales, justifica el desarrollo del proyecto que aquí se documenta, plantea sus objetivos, alcances y limitaciones.

1.2 Definiciones.

Con el propósito de facilitar el entendimiento de las ideas que se tratan en este documento, se presentan a continuación definiciones breves de algunos términos de uso frecuente en el texto. Los conceptos de control se profundizan en el capítulo 4.

- **Controlador de procesos industriales -Sistema de control** que de entrada tiene un valor predefinido por el usuario (SETPPOINT), el cual corresponde al ideal de la variable de salida. el control se realiza a través de una secuencia de pasos que comienzan por comparar el SETPOINT contra el valor real de la variable, (llamada comunmente variable de proceso o VP), y a partir del error encontrado, procura los mecanismos adecuados para tratar de igualarlos. La forma en que debe responder a las variaciones de la VP también son predefinidas por el usuario mediante la programación de algunos parámetros del sistema. Según la complejidad del controlador, la cantidad de variables puede cambiar. Las más usuales son:
- **Constante Proporcional KP** -Porcentaje del rango total dentro del cual se realiza control.
- **Constante de Tiempo Total KT** -Duración del ciclo de control (aplicable en controladores con relevadores de salida no sólo con control on-off).
- **Constante Derivativa o Diferencial KD** -Factor de adelanto (en tiempo) del efecto de control por modificaciones en la velocidad del cambio del error.
- **Constante Integral KI** -Factor de reposición o factor de corrección por permanencia del error.

- **Setpoint de Alarma** -Punto de la escala que al rebasarse en dirección contraria al setpoint de la VP, enciende los sistemas de emergencia.
- **Histéresis de Alarma** -Margen de encendido que prolonga la vida del relevador de la alarma al no permitir que esta se encienda y se apague si la temperatura oscila en el entorno del setpoint de la alarma.
- **Constante de Burnout** -Indicador de seguridad, señala al controlador si este debe encender o apagar la salida de detectar un error grave.

Otras definiciones importantes son:

- **Firmware** -Programa monitor. Software desarrollado en forma externa al equipo y grabado en forma permanente en memorias ROM o EPROM. En las computadoras personales el BIOS es un Firmware.
- **Control On/Off o de Encendido/Apagado** -Tipo de control que permite solamente dos estados en la salida dependiendo si el valor de la VP está por arriba o por abajo del setpoint.
- **Control P** -Tipo de control que utilizando la constante proporcional, entrega un valor de salida proporcional al error detectado.
- **Control PID** -Tipo de control que entrega una salida dependiente del error, de KP, KT, KD y KI. Así, la potencia entregada es función de la magnitud del error, del tiempo que este lleva existiendo y de la velocidad con que este se modifica.

1.3 Condiciones del Mercado Nacional de Controladores Industriales en la Actualidad.

En la actualidad el mercado nacional de controladores de temperatura está dividido principalmente en tres categorías:

- a) Controladores analógicos.
- b) Controladores digitales.
- c) Controladores lógicos programables.

a) Los controladores analógicos existen desde hace tiempo, su funcionamiento puede ser mecánico, hidráulico, neumático o electrónico. Los primeros son usados con frecuencia en distintos procesos predominando en el control de equipos domésticos o de pequeña industria. Los equipos de control no electrónicos, tienen la desventaja de tener respuesta lenta, por eso han sido poco a poco sustituidos por los electrónicos. Estos últimos se encuentran en gran variedad de aplicaciones debido a que en comparación con los controladores digitales, son de precios más accesibles. Casi todos los equipos de esta categoría tienen en su carátula una perilla con la cual se ajusta el valor del SETPOINT y una aguja indicadora de la temperatura actual. Por lo general tienen un LED que se enciende a la par de la salida. Algunos equipos

incluyen sistemas de ajuste a un segundo setpoint en el cual se activa una segunda salida usada como alarma.

Los equipos descritos presentan las siguientes desventajas:

- Errores por efectos de paralaje al ajustar el setpoint.
- Errores por precisión, causado por escalas de graduación separada.
- Escalas limitadas, los rangos de las carátulas son limitados, por lo que se requieren diferentes controladores para procesos distintos.
- Perilla sobresaliente a la carátula; esto trae consigo un factor de riesgo ya que los tableros suelen estar ubicados en pasillos y un roce accidental puede mover la posición del setpoint.
- Compensaciones inexistentes o limitadas. Por lo general no hay compensación de punta fría, y la linealización se realiza sólo en algunos de los equipos.
- No hay manejo de fallas imprevistas.

Las ventajas principales de este tipo de equipos son dos:

- Precio reducido.
- Fácil instalación y puesta en operación.

b) Dentro de la categoría digital de controladores, podemos encontrar varios niveles según su complejidad. Los controladores digitales más sencillos son en realidad analógicos pero despliegan el valor de la temperatura en forma digital, es decir, realizan una conversión A/D pero esta sólo se usa en el despliegue, el error se encuentra empleando comparadores. Este tipo de equipos son poco comunes en el mercado, y su única ventaja sobre los analógicos normales, es que no presentan errores por paralaje.

Los controles digitales "reales" son programados a través de un teclado que aparece en la carátula junto con un display donde se muestra el estado de la variable y las salidas.

Casi todos estos equipos permiten el control on-off, el proporcional simple, y el control proporcional integral derivativo (PID). Además cuentan con programación adicional de variables como los setpoints de las alarmas y la histéresis que estas muestran. Gracias a su arquitectura basada en microprocesadores, permiten un manejo muy eficiente de los problemas que se pudieran presentar.

Algunos de los equipos más sofisticados pueden ser conectados a una impresora para dejar registrados los eventos que acontecieron, y a una computadora central para ser programados como parte de un Sistema Integral de Manufactura (SIM).

Muchos de estos controladores se definen como universales ya que no necesariamente son utilizados para el control de temperatura, sino que pueden realizar la misma labor con variables como velocidad o presión.

Los equipos más especializados incluyen algoritmos especiales para la autocalibración.

Las desventajas principales de estos sistemas son:

- Programación relativamente compleja.
- Precios que oscilan entre medio alto y alto.

Sin embargo sus ventajas son muchas:

- Control flexible gracias a su facultad de reprogramarse.
- Posibilidad de uso en control de variables no térmicas.
- Indicadores muy claros que no permiten errores por paralaje.
- Programación de alarmas para un mejor monitoreo del proceso.
- Opción de elaborar registros impresos de procesos.
- Control de fallas no previstas, como la ruptura del termopar, o funcionamiento erróneo.
- Instalación sencilla semejante a la de equipos analógicos.
- Facultad de controlar diversas variables simultáneamente desde computadoras centrales.

c) Controladores Lógicos Programables.- Cada vez es más común la necesidad de controlar variables interdependientes de manera simultánea, sobre todo en la industria. Un equipo que lleva a cabo esta labor es el controlador lógico programable (PLC), es un dispositivo digital que se programa para controlar en forma flexible y modular. A partir del sensado de las diversas entradas que posee y de una revisión de la secuencia del programa, toma decisiones para encender o apagar salidas. La mayor parte de las entradas de los PLC's son digitales, sensando únicamente la existencia o la inexistencia del evento; las salidas por consiguiente también lo son (por ejemplo: si se interrumpe un haz de luz, se enciende una alarma). Empero, algunos PLC's de mayor capacidad, sensan variables analógicas y controlan salidas analógicas, esto se realiza mediante convertidores A/D y D/A. La mayoría de estos equipos tienen una precisión de ocho o doce bits (256 o 4096 niveles) y no tienen conexión directa a variables específicas como temperatura, es decir, se requieren acoplamientos entre el medidor y la entrada analógica.

Las desventajas de este tipo de equipos son:

- Costo elevado.
- Difícil instalación.
- Programación sofisticada que requiere de técnicos especializados y mucho tiempo de diseño.
- La capacitación técnica es prolongada.

- Necesidad de realizar acoplamientos especiales para lecturas analógicas.
- Generalmente tienen baja resolución ya que su función primordial es el control digital de variables on-off.
- No tienen compensación en forma directa, sólo aquella que se genere en el programa o se instale dentro del acoplamiento.

A pesar de esto, las ventajas son amplias:

- Alto nivel de control, permite definir toda clase de alternativas a realizar ante situaciones no esperadas.
- Interacción con todas las variables involucradas.
- Flexibilidad para ser reacondicionado ante diferentes necesidades.
- Una vez funcionando, requiere supervisión mínima, pero especializada.

1.4 Carencias Actuales, Justificación y Características.

A pesar de la existencia tan variada de controladores en el mercado nacional, es posible detectar un espacio no cubierto hasta el momento:

- La mayor parte de los equipos de control digital son de importación, por lo que sus costos son elevados.
- Los equipos más precisos de control encontrados, (UDC 3000 o 5000 de HONEYWELL) presentan la variable a través de un display de 4 dígitos sin punto decimal o con punto decimal (no flotante) definible para su utilización según la variable a controlar. En todo caso, la precisión que estos equipos presentan para el control de temperatura es de una décima de grado en rangos chicos y de un grado centígrado en temperaturas elevadas.
- Aunque se consideran equipos de control universal, en la mayoría de los equipos, esto sólo es verídico dentro de fábrica ya que el industrial al hacer el pedido del equipo que desea, tiene que especificar con qué tipo de termopar va a trabajar y sobre qué rango de temperatura (o la variable que se controlará). El fabricante le entrega al industrial un equipo ya sólo utilizable dentro de las características que se le pidieron.
- Los equipos que permiten realmente ser utilizados con diferentes tipos de termopar, requieren ser programados y recalibrados cada vez que se haga un cambio.
- La programación de los controladores, aunque no es muy compleja, requiere tener siempre el manual o una tarjeta de referencia rápida ya que manejan demasiadas variables y la visualización es en inglés o no siempre es clara.

El controlador propuesto, presenta algunas innovaciones y ventajas sobre otros ya existentes en el mercado que permiten solucionar los problemas mencionados

antes y que no contemplan los equipos comerciales actuales. De algún modo, estas mejoras son una justificación del diseño mismo:

- Por diseñarse y construirse en México, sumado a la sencillez de su arquitectura, es factible ubicar el costo del equipo dentro del rango medio-bajo con lo que se presenta como una alternativa adecuada para las industrias pequeñas que quieren sustituir sus equipos analógicos obsoletos por equipo moderno. También es aplicable en la industria mayor donde se pueden requerir equipos controladores en cantidades que representen gastos considerables.
- Al desplegar la información con cuatro dígitos y medio, se puede lograr una precisión de hasta decimas de grado sin sacrificar el rango del equipo. Esto se logra realizando conversiones del dato analógico a información digital, con un mayor número de bits (16).
- Cualquier variable puede ser conectada directamente para su control, sustituyendo la tarjeta de amplificación de instrumentación del termopar por una que acondicione la señal del transductor deseado a una escala lineal de 10mV/unidad; es decir, el acoplador transductor de cualquier variable se puede acoplar al equipo mediante una etapa de amplificación instrumental que proporcione en forma lineal en cualquier región del rango un voltaje de 10mV por cada unidad que cambie tal variable. La forma de asignar los puntos críticos dentro del rango no se modifica.
- La programación del equipo es muy sencilla ya que es posible visualizar todas las variables secuencialmente, mientras que los indicadores del display señalan la variable que se está viendo. Tanto el manual como la carátula y los mensajes, aparecen en español, por lo que su uso es accesible a casi todos los niveles con una simple capacitación de unos cuantos minutos.
- Al encender, reprogramar o reiniciar el sistema, este realiza una serie de autopruebas que verifican: El buen estado de todos y cada uno de los LED's del display, el buen estado de la memoria RAM, la existencia de parámetros previamente programados y que sean iguales al respaldo interno, la congruencia de los datos entre sí, el buen estado del sensor y la ausencia de ruido en la línea.
- El algoritmo del sistema incluye detectores de fallas, que facilitan el monitoreo, la programación y el proceso mismo.
- El sistema es "amigable", si detecta errores de congruencia entre los datos, no sólo señala el error sino que indica también la variable en donde la detectó, asegurando con ello una programación adecuada.
- La programación de cada variable esta monitoreada constantemente para no introducir valores fuera de rango. Al incrementar la variable más allá del límite superior, el valor se reinicia desde el límite inferior. Lo inverso también es válido, esto se ha denominado "programación circular". La programación circular asegura el valor de las variables dentro de límites fijados de fábrica.
- El algoritmo del sistema impide la confusión de los supervisores del proceso. Aunque se haya olvidado regresar el display a la visualización normal de la VP,

cuando no se presiona ninguna tecla en el transcurso de quince segundos, el modo normal pasa a ser el activo.

- Para un mejor registro del proceso a controlar, el equipo almacena el valor máximo y el valor mínimo de la VP al que ha llegado a partir del momento en que se encendió, programó, o reinició.
- El sistema cuenta con un dispositivo "guardian" (watchdog) que monitorea el funcionamiento adecuado. Si por algún motivo el equipo sale de secuencia, el watchdog reiniciaría el control, al contar con memoria permanente, sólo se realiza la secuencia de autopruebas y continúa el proceso sin causar perjuicios al proceso realizado (siempre y cuando los datos estén en buen estado).
- El controlador se puede reprogramar sin dejar de controlar, es decir, durante el proceso de reprogramación, las variables anteriores se conservan hasta salir del modo de programación.
- Para evitar errores en la reprogramación, el algoritmo no guarda el nuevo valor de ninguna variable como válido, a menos que se presione la tecla de grabación (GRAB).
- No es necesario reprogramar cada vez que se enciende el equipo ya que la información está protegida por un respaldo de batería que guarda los parámetros del proceso aún cuando el equipo permanezca apagado por un lapso de cinco años.
- El diseño modular del equipo permite que se adquieran los aditamentos diferentes conforme se requiera, ya que para el diseño se consideraron todas las posibles ampliaciones que se pudieran necesitar. (Interfase serial para programación remota, interfase paralela para acoplar impresoras, control de más de una variable, etc.)
- El sistema puede controlar equipos de potencia en función de los parámetros programados a través de un relevador que los enciende o apaga, el tiempo necesario que corresponda a la potencia requerida. A pesar de que el relevador tiene sólo dos estados (on-off), el control PID se realiza mediante una relación de tiempo de encendido por ciclo total. Este tipo de control es el más común a nivel industrial.

1.5 Objetivos, Alcance y Limitaciones.

Es importante mencionar que el desarrollo de este proyecto está contemplado en varias fases. Esta tesis documenta únicamente una primera parte que cubre el desarrollo y la implementación del prototipo (alambrado en algunas partes y con circuitos impresos en otras) hasta lograr el control on-off y proporcional.

Este documento no incluye información relativa al control derivativo ni integral, las interfaces a equipo externo (impresoras o computadoras centrales).

La salida es exclusivamente a través de relevadores ya que esta es la norma más común en la industria, pero se planea la inclusión de salidas analógicas con estándares como el de 20mA.

El Proyecto tiene un alcance muy amplio, sin embargo, este documento pretende solamente demostrar su funcionamiento en su fase preliminar.

Los objetivos de este proyecto son:

- Diseñar e implementar un sistema de control de temperatura para uso industrial, de alta fidelidad, basado en microprocesador, que sea programable por el usuario, de tal modo que sea aceptable a las necesidades de cada proceso a controlar.
- Llenar un espacio hasta ahora vacío dentro de las necesidades de la industria nacional, de forma que el industrial tenga una alternativa en controladores de fabricación nacional que sean de costos razonables y cubran los requisitos de resolución, linealidad, amplitud de rango, confiabilidad y facilidad de programación e instalación.
- Se pretende que el sistema de control pueda realizar lecturas de temperatura con una precisión de 3% en un rango de -60°C. hasta 1200°C con una resolución de décimas de grado.
- El sistema deberá tener la capacidad de controlar equipos de potencia, que mediante su acción, mantengan la variable controlada dentro de los límites establecidos por el usuario.

1.6 Bibliografía.

- Control Engineering. Mayo 1988. Vol 35. No 5.
- UDC 3000, Universal Digital Controller, Product Manual. Honeywell Proces Control Division Fort Washington, PA, II 1988.
- UDC 500, Universal Digital Controller, Advance Information. Honeywell Proces Control Division Fort Washington, PA, VIII 1983.
- CANALES, R. BARRERA, R. Análisis de Sistemas Dinámicos y CONTROL AUTOMÁTICO. México, LIMUSA 1a. Ed. 1977.
- KUO, C. B. Digital Control Systems, USA, 1 ed. HRW1980.
- OGATA, K. Ingeniería de Control Moderna. México Prentice-Hall 1982.
- BIBBERRO, R.J. Microprocessors in Instruments and Control. USA John Wiley & Sons, 1977.
- DESHPANDE, P. BASHI, R.H. Elements of Computer Process Control With Advanced Control Applications. USA, Instrument Society of America 1981.

CAPITULO 2.

TRANSDUCTORES TERMICOS.

2.1 Introducción.

La temperatura, es una de las variables de proceso que con mayor frecuencia se requiere controlar, la mayor parte de los procesos de destilación, teñido, inyección, etc., se realizan bajo condiciones de temperatura controlada. Esto se debe a que la presión, el volumen, la resistencia eléctrica, los coeficientes de expansión y en general casi todos los parámetros característicos de la materia, son variables relacionadas con la temperatura; por esta misma razón, se puede inferir que los cambios en alguna de estas variables se pueden utilizar para medir la temperatura. Su calibración puede llevarse a cabo por comparación con patrones establecidos. La Escala Internacional de Temperatura sirve para definir a la temperatura en términos de características observables de los materiales. (Ver tablas del apéndice 1.1)

Para los fines de esta tesis, se hace referencia únicamente a las formas más usuales de medición de temperatura y se recalcan aquellas que se seleccionaron.

2.2 TERMOMETRIA

Se pueden clasificar los medidores de temperatura en tres grandes grupos según el efecto que se aprovecha para la medición:

Termómetros que aprovechan los efectos mecánicos.

Son quizá los de mayor uso en la actualidad, especialmente en aplicaciones de tipo doméstico, clínico y de laboratorio. Estos termómetros miden la temperatura en forma indirecta al registrar el cambio de alguna dimensión mecánica con respecto a la temperatura misma.

- El termómetro por expansión de líquido es uno de los más comunes, en especial los de mercurio y alcohol.
- El termómetro bimetalico se compone de dos tiras de metal pegadas que tienen diferentes coeficientes de expansión térmica. Si el elemento bimetalico se expone a una temperatura mayor que a la que fue unido, se doblará en una dirección, y en caso de exponerse a una menor, se doblará en dirección contraria. Si se mide la deflexión de los elementos bimetalicos, se puede calcular la temperatura a la que se encuentran. Una modificación a este tipo de medidor, se puede utilizar como un

control de disparo de equipos eléctricos ya que se puede calibrar de tal modo que a cierta temperatura la deflexión sea la suficiente como para poner en contacto dos terminales de un interruptor, o liberar un resorte, tal es el caso de los termostatos; un ejemplo típico es el mecanismo de los tostadores de pan, cuando la temperatura dentro del tostador, ha ocasionado una deflexión suficiente en el termostato, un resorte se libera apagando el tostador y elevando las rebanadas de pan para ser consumidas, el control de "nivel de tostado" se logra acercando o alejando el termostato al punto crítico de disparo.

- El termómetro por expansión de fluidos es un método muy usado en la industria, un bulbo que contiene gas, se sumerge dentro del ambiente a medir, este se conecta por medio de un tubo capilar a algún medidor de presión, la variación de temperatura se verá reflejada en la presión y mediante una escala correcta se puede obtener una lectura de temperatura. Este tipo de medidores se utiliza mucho cuando el ambiente a medir se encuentra distante al punto de medición (carátula del termómetro). tiene algunas desventajas como son el tiempo de respuesta, que aunque es variable según el gas, la longitud del capilar, el volumen del bulbo, etc., nunca es mejor que el del mercurio. Las aplicaciones más comunes son en refrigeración.

Termómetros que aprovechan los efectos de radiación.

Es posible medir la temperatura de un cuerpo a través de la radiación térmica que emite. Comúnmente se emplean dos métodos para efectuar este tipo de mediciones: Pírometría óptica, y Determinación de la emisividad.

- La pírometría óptica se refiere a la identificación de la temperatura de una superficie por medio del color de la radiación emitida, y se basa en que cuando se calienta una superficie, su color cambia paulatinamente del rojo oscuro al blanco, pasando por el naranja. El dispositivo medidor consta de dos lentes, dos filtros y una lámpara estándar, se hace circular una corriente conocida a través del foco estándar, el filamento del foco emitirá una luz que cambiará de intensidad según la corriente que pase por él; mirando a través de los lentes y filtros, se puede hacer que el color del filamento se iguale al de la superficie caliente de la que se quiere determinar su temperatura, cuando esto sucede y conociendo el material de la superficie, se puede conocer la temperatura a la que se encuentra. Este método se utiliza principalmente para medir la temperatura de metales en estado líquido y en general de altas temperaturas en procesos de fundición de metales. También se utiliza para la medición de temperaturas de estrellas. Su precisión es bastante mala y depende de la apreciación del observador, pero dado el rango de temperaturas en la que se utiliza, no suele ser muy importante una mayor resolución.
- La determinación de la emisividad es un método poco usual, sin embargo es, según la Escala Internacional de la Temperatura, la base del límite superior (ver apéndice 1). Se basa en la determinación de la radiación total emitida por un cuerpo, se debe conocer su coeficiente de emisividad y mediante cálculos se puede detectar la temperatura del material. Es un método usado en estudios de materiales y astronomía.

Termómetros que aprovechan los efectos eléctricos.

Para fines de control, estos métodos son los más comunes ya que la lectura de la temperatura se hace en forma indirecta a través del cambio de una variable eléctrica, la alteración puede ser fácilmente detectada y amplificada. Este tipo de sensores son de gran exactitud siempre y cuando se lleven a cabo las mediciones bajo estrictas normas de calibración y se realice una compensación adecuada.

- **Termómetro de resistencia eléctrica:** Es un dispositivo muy exacto para medición de temperaturas, consiste, en esencia de un elemento resistivo que se expone a la temperatura a medir. La resistencia eléctrica del elemento, es proporcional a la temperatura. Los materiales que pueden utilizarse como elementos resistivos son varios pero destacan el níquel, el platino, los metales preciosos y algunos semiconductores (termistores).

El uso de los termómetros de resistencia eléctrica se limita a las regiones donde su respuesta es lineal o responde a una curva cuadrática fácil de determinar. Cabe señalar que el termómetro de resistencia de platino se utiliza en la Escala Internacional de Temperatura para los rangos definidos por los puntos del oxígeno y del antimonio (ver apéndice 1.1).

Dependiendo de la aplicación, hay varias formas de fabricar termómetros de resistencia, pero en todos los casos se debe cuidar que la resistencia esté libre de esfuerzos mecánicos y de humedad, ambas situaciones perturban la medición.

La forma más común de medir las temperaturas con estos elementos es mediante un circuito puente, donde una de las resistencias es el sensor, la deflexión registrada en el galvanómetro es un indicador indirecto de la temperatura a la que se encuentra el elemento. Una de las fuentes principales de error es el efecto de la resistencia de los alambres que conectan el elemento sensor con el circuito puente. Por lo general estos errores se corrigen utilizando arreglos de varios hilos como se puede ver en la figura 1. El más común sin embargo es el arreglo Siemen's de 3 hilos.

Es importante mencionar que la calibración de circuitos puente es una labor sumamente difícil, la construcción se debe realizar con resistencias de valores muy precisos y libres de error térmico; por lo general este tipo de resistencias son muy difíciles de conseguir y su precio es elevado.

Información más detallada de este sensor, puede observarse en las especificaciones de un fabricante anexadas en el Apéndice 4.

El Termistor.

- Es un dispositivo semiconductor que tiene un coeficiente negativo de resistencia por temperatura, en contraste con el coeficiente positivo que muestran la mayor parte de los metales. La variación de la resistencia con la temperatura sigue un comportamiento exponencial. El termistor es un dispositivo extremadamente sensible y, calibrando adecuadamente se obtiene una precisión del orden de 0.01 °C. Una característica interesante del termistor es la posibilidad de utilizarlo para compensar incrementos de resistencia por temperatura en circuitos eléctricos,

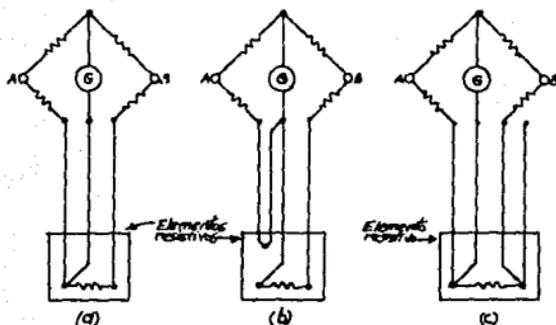


Figura 1.

aprovechando su coeficiente negativo de temperatura. Una de las desventajas que tiene es el rango tan reducido.

Información detallada de este sensor, aparece en las especificaciones proporcionadas por un fabricante anexadas en el Apéndice 4.

El termopar.

- Es quizá el método más común para medir temperatura por efectos eléctricos. Sus grandes ventajas le dan un campo de acción bastante extendida tanto en investigaciones científicas como en termometría industrial. Su funcionamiento es simple, consiste principalmente en dos alambres, una referencia estable y un sistema potenciométrico. Se pueden obtener sistemas más complejos pero la base del sistema será siempre la misma. El termopar puede ser largo para permitir protecciones mecánicas y de corrosión, o cortos para asegurar una rápida respuesta y una capacidad térmica pequeña.

Con un diseño adecuado y cuidadoso, se pueden fabricar encapsulados del termopar que resistan atmósferas corrosivas. Los termopares (incorrectamente llamados por traducción directa del inglés termocuplas); pueden ser usados en amplios rangos de temperatura: Desde helio líquido ($-270^{\circ}\text{C}.$) hasta las altas

temperaturas de fundición (2200 °C.). Sin embargo, se requieren diferentes aleaciones para mediciones extremas. Muchas de las combinaciones de los termopares, proveen una respuesta casi lineal en un rango grande; por esto, se pueden lograr buenas calibraciones y métodos de instrumentación simples y precisos. A diferencia de los termómetros de resistencia, los termopares no tienen problemas por efectos de autocalentamiento.

El número de combinaciones de dos aleaciones para los termopares es virtualmente infinita, pero afortunadamente existen estandarizaciones. La selección de una combinación como estándar se hace con base en las respuestas de estas, y al precio de producción; pero también, debido a la saturación inicial del mercado de productos de unos cuantos fabricantes, posteriormente fue necesario asegurar el insumo de refacciones a los clientes que habían adquirido ya un tipo de termopar.

Una de las razones que le han dado al termopar popularidad es la portabilidad, la facilidad de dar mantenimiento y la facilidad de diseñar con el equipos de medición, pueden servir tanto con pequeños galvanómetros para su instrumentación o en complicados equipos digitales para su control.

La necesidad de una unión estable como referencia a sido sustituida en muchas aplicaciones por una unión de temperatura compensada; de hecho, esto es lo más común en la práctica industrial.

Información detallada de este sensor, puede observarse en las hojas de especificaciones proporcionadas por un fabricante, anexadas en el Apéndice 4.

Como se puede notar en las descripciones anteriores, no hay mucha variedad para la elección del tipo de sensor en equipos de control; es obvio que debe aprovechar efectos eléctricos; ya que es lo más adecuado para los sistemas de control. Originalmente se pretendía lograr que el equipo fuera capaz de medir tanto con termómetros de resistencia eléctrica (RTD's) como con termopares, pero después de un análisis de costos, se descartó la medición con RTD's; el costo del elemento resistivo variaba desde 87 dólares hasta doscientos, siendo además, bastante difícil conseguir. En cambio, el cable de termopar, dependiendo los materiales de la unión, varía bastante de precio, pero siendo los tipos "J" y "K" los más comunes, nunca excedió los tres dólares el metro; por supuesto, si se desea usar termopares con cubiertas protectoras y materiales aislantes especiales, el precio puede subir bastante, pero nunca alcanzará el precio de las RTD's.

Otro factor importante que ayudó a elegir al termopar como base del diseño es el rango de trabajo, con una compensación y linealización adecuada, es posible lograr muy buenas precisiones con el mismo termopar y en rangos muy grandes; en cambio, con termómetros de resistencia eléctrica, la precisión puede ser mucho mayor pero en un rango mucho menor.

Por último se puede mencionar que el circuito de instrumentación para el termopar, es, como se podrá notar más adelante, bastante sencillo, y fácil de calibrar, en cambio, diseñar y realizar un circuito puente como los que requieren los RTD's es mucho más difícil.

Una tabla comparativa de los dos tipos de transductores, se puede observar a continuación:

TABLA 1

TIPO DE SENSOR:	TERMOPAR "J" ----- RTD "G"
RANGO DE TEMP. APLICABLE.	0 A 760°C ----- 185 a 480°C
EXACTITUD APROXIMADA	2.2% ----- 0.5%
PORCIENTO DE ERROR	0.5% ----- 0.1%
COSTO APROXIMADO (marzo de 1988)	de \$15,000 a ----- de \$ 200,000 a \$30,000 ----- \$400,000
RESISTENCIA A LA OXIDACION	BUENA ----- REGULAR
FACILIDAD DE ADQUIRIR	MUY FACIL ----- MUY DIFICIL

En la siguiente sección se extenderá el estudio de los termopares, y se dará mayor énfasis al tipo de termopar que se escogió para los propósitos de esta tesis.

2.3 Principios Fundamentales de los Termopares.

En 1821 Thomas Johan Seebeck descubrió la existencia de corrientes termoeléctricas mientras experimentaba en circuitos de bismuto-cobre y bismuto-antimonio. Demostró que cuando la unión de dos metales diferentes es puesta a diferentes temperaturas, se genera una FEM de diferente valor, si el circuito se cierra, entonces se obtiene una corriente termoeléctrica.

Unos años después, Becquerel demostró que una unión de platino-paladio puede ser usada para medir temperatura. Una década más adelante, Jean Peltier descubrió un efecto térmico en uniones de dos metales: cuando se hace circular una corriente en un sentido de la unión, esta se enfría, y en sentido opuesto, esta eleva su temperatura. Con ayuda de las teorías de termodinámica (nuevas en ese entonces), William Thomson (posteriormente Lord Kelvin) demostró que los dos efectos están relacionados, también desarrolló las ecuaciones fundamentales que se usan incluso hoy. Desde entonces, se han desarrollado múltiples teorías sobre la termoelectricidad, pero no son del todo necesarias para un uso práctico de termopares.

Una de las combinaciones que recientemente se han llegado a utilizar con mayor frecuencia es la de cobre-constantán, actualmente se le enuncia como tipo "T", otras combinaciones comunmente usadas son: Cromel-Alumel, platino-platino/rodio, estas últimas se han llamado termopares tipo "S", "R", y "B". Nuevas combinaciones incluyen aleaciones de tungsteno-rhenio para altas temperaturas y oro-hierro para rangos criogénicos.

El principio fundamental que se requiere conocer para el estudio de circuitos termoelectricos puede ser expresado por las ecuaciones que describen tres efectos térmicos:

El Efecto Seebeck. Puede ser descrito con el auxilio de la figura 2. Si se cierra un circuito a través de dos conductores diferentes A (positivo) y B (negativo) con sus puntos de unión a temperaturas T_1 y T_2 , entonces una corriente fluirá a través del circuito en la dirección indicada, si existiera una abertura en el circuito, en lugar de corriente aparecería un voltaje conocido como el Voltaje termoelectrico o fem de Seebeck.

Para una diferencia de temperatura, el cambio en el voltaje está dado por:

$$dE_s = \alpha_{A,B}dT$$

donde $\alpha_{A,B}$ es el coeficiente de Seebeck para la unión de materiales A y B a la temperatura T.

El voltaje total para la diferencia de temperatura está dado por:

$$E_s = \int \alpha_{A,B}dT$$

El coeficiente de Seebeck $\alpha_{A,B}$ se obtiene a partir de una relación funcional con un material estándar:

$$\alpha_{A,B} = \alpha_{A,R} + \alpha_{R,B}$$

donde "R" representa el material de referencia.

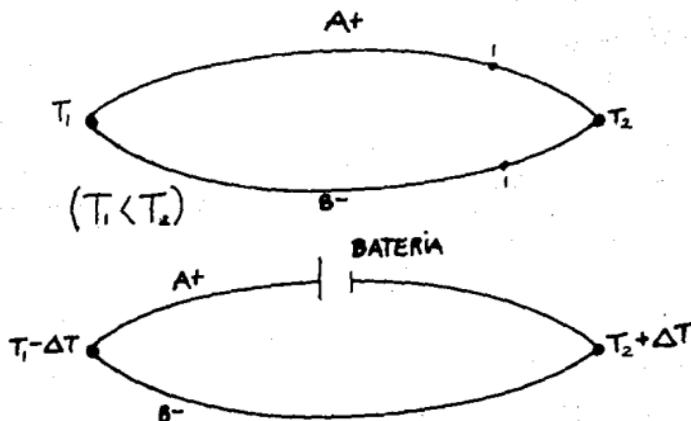


Figura 2 y figura 3.

El Efecto Thomson se visualiza en la figura 3. Cuando una corriente fluye a través de una unión de materiales diferentes, el calor es absorbido o liberado por ésta. Si la corriente fluye en la misma dirección que la corriente de Seebeck, entonces el calor es absorbido en la punta caliente, lo contrario también es válido.

La relación puede ser expresada por la fórmula siguiente:

$$dQ_p = \pi_{A,B} I dt$$

donde dQ_p es la cantidad de calor, $\pi_{A,B}$ es el coeficiente de Peltier, I es la corriente eléctrica y dt es el tiempo.

La relación entre el efecto Peltier y el efecto Seebeck, la encontró Thomson según la fórmula:

$$\pi_{A,B} = (\sigma_A - \sigma_B) dT$$

donde σ es el coeficiente de Thomson para un conductor definido por:

$$E_{T1,T2} = \int_{T_1}^{T_2} \sigma_A dT$$

Verbalmente, el Efecto Thomson es el cambio en la capacidad térmica de un conductor de sección unitaria, cuando una cantidad unitaria de carga eléctrica fluye a través de él con un gradiente de temperatura de un grado Kelvin.

Muchas relaciones térmicas, inclusive las relaciones de Kelvin, son discutidas por diferentes autores; sin embargo, las tres leyes básicas de la termometría son dadas por la ASTM en el manual STP 470, estas son:

1.-Ley de los Metales Homogéneos.

Una corriente termoeléctrica no puede generarse en un circuito de un único material homogéneo, aún con la variación de temperatura.

2.-Ley de los Metales Intermedios.

La suma algebraica de las fems termoeléctricas (voltajes) en un circuito compuesto por cualquier número de materiales diferentes será equivalente a cero si la totalidad del circuito se encuentra a una temperatura uniforme.

Un tercer material puede ser incluido en el circuito sin que se modifique el valor del voltaje termoeléctrico siempre y cuando estén en una región isotérmica. Gracias a esta aseveración es posible decir que los métodos de unión de los dos metales como la soldadura, o el contacto por mercurio, no afectan la salida termoeléctrica si la unión es isotérmica. Otra consecuencia es, que si se conocen los voltajes termoeléctricos de dos materiales con respecto a un tercero, los voltajes entre estos pueden ser determinados por adición.

3.-Ley de las Temperaturas Intermedias.

Si dos metales homogéneos producen una fem térmica E_1 cuando sus uniones están a las temperaturas T_1 y T_2 , y producen una fem térmica E_2 cuando sus

uniones están a las temperaturas T_2 y T_3 , entonces la fem generada si sus juntas estuvieran a las temperaturas T_1 y T_3 sería $E_3 = E_1 + E_2$.

El resultado de esta tercera ley es que una unión calibrada para una temperatura de referencia, puede ser fácilmente corregida para una segunda temperatura de referencia. Otra consecuencia es la posibilidad de usar extensiones de alambres sin distorsionar el voltaje de salida.

Métodos de Fabricación y Medición.

Los métodos de fabricación y medición del voltaje de salida, varían dependiendo de la aplicación y el rango de temperatura a medir. El método más sencillo utiliza alambres pequeños y ligeramente aislados; los más complicados son los que tienen fundas (sheathed) de aislamiento cerámico usadas para reactores nucleares de alta temperatura.

Información detallada de termopares diversos, aparece en las hojas de especificaciones del fabricante, anexadas en el Apéndice 4.

Una exacta termometría basada en termopares es posible si se tiene cuidado en:

1. Selección de material.
2. Pruebas y calibración del termopar.
3. Técnicas de fabricación, aislamiento, etc. y
4. Diseño general experimental y técnicas de medición.

La selección de un termopar adecuado para aplicaciones específicas, está basada en varias consideraciones. Una de ellas, vital en altas temperaturas, es la compatibilidad del entorno con el material del termopar y su aislamiento. A bajas temperaturas esto también es importante, sin embargo, las más de las veces no resulta problemático. Para evitar corrosión en atmósferas adversas, se aíslan los metales. Los aislantes más comunes son el esmalte, polietileno, politetrafluoretileno, polyimide y fibra de vidrio, combinaciones de vidrio con algunas de las anteriores también son frecuentes. Probablemente el más durable pero el más difícil de remover es polyimide. Alambres sin aislamiento también pueden obtenerse para situaciones especiales.

Muchos termopares desarrollados para usos en alta temperatura tienen sensibilidad muy pobre en bajas temperaturas como para ser útiles; otros tienen razonable sensibilidad, pero no son fiables debido a las heterogeneidades en el material y por ser susceptibles a variaciones.

La medición de temperatura en presencia de campos magnéticos o radiación requiere cuidados y técnicas especiales. Muy pocos sensores de temperatura mantienen su calibración normal en estas condiciones. El porcentaje de error puede variar dependiendo del material del termopar, de la intensidad del campo y de la temperatura. Los materiales que tienen alta sensibilidad a bajas temperaturas serán los más afectados por campos magnéticos o radiación.

La calibración de un termopar especial depende totalmente de la aplicación. Si la diferencia de temperatura necesaria es sólo del 10% se puede usar una tabla de compensación como la que aparece en el apéndice 1.2. Esta tabla se refiere al tipo de termopar sin considerar el grueso del cable o la forma de la punta. Si se requiere una precisión de 0.01K o mejor, es necesaria la calibración in-situ, contra un termómetro de referencia tal como el de resistencia de platino o germanio.

Las tablas estandarizadas para altas temperaturas representan únicamente una aproximación de la fem contra la diferencia de temperatura para un tipo de termopar. Mejor precisión sólo se obtiene con mediciones particulares. La diferencia en la fem de un termopar dado y las tablas estandarizadas, por lo general es muy pequeña y lineal, gracias a lo cual, la medición de pocos puntos en la escala se puede interpolar.

La calibración de un termopar se hace con una punta del tipo 3 como la que se muestra en la figura 4. Este tipo de puntas se usa para obtener los valores de las fems termoeléctricas entre una serie de pares de puntos. Estos valores pueden usarse posteriormente en conjunción con una referencia estándar y una interpolación lineal para formar una nueva y más exacta tabla del termopar específico.

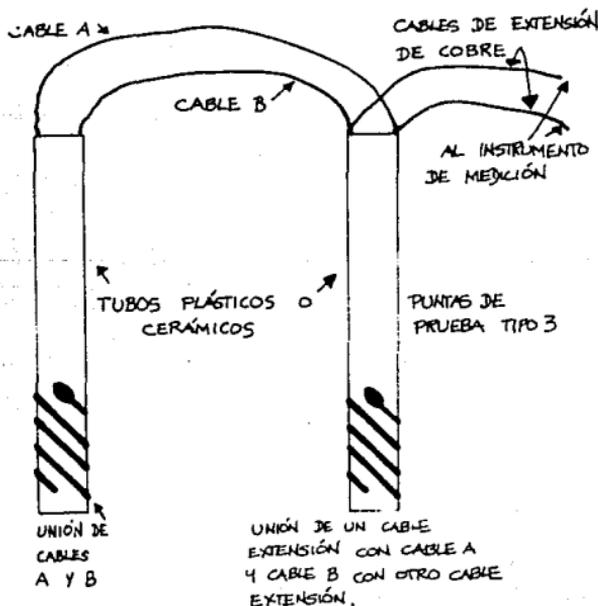


Figura 4.

Aunque en teoría, al unir dos alambres del mismo material no debe existir una fem termoeléctrica, esta se puede presentar debido a la inhomogeneidad del material, de hecho, al "formar un termopar" con alambre de diferentes carretes pero del mismo material, se pueden encontrar voltajes de hasta cientos de microvolts en casos extremos.

Por lo anterior, la selección del material para la fabricación de equipo de medición de temperatura debe hacerse considerando los cuatro posibles niveles de inhomogeneidades:

a) Inhomogeneidad en el material del mismo alambre con variaciones separadas menos de 5 metros entre sí.

b) Inhomogeneidad en el material del mismo alambre con variaciones separadas más de 5 metros entre sí.

c) Inhomogeneidades entre diferentes carretes de alambre del mismo lote.

d) Inhomogeneidad entre diferentes carretes de alambre por ser de fabricantes diferentes, lotes diferentes, haber sufrido tratamientos diferentes, etc.

Estas consideraciones no sólo son aplicables en la selección del alambre para el termopar, también debe cuidarse el uso de diferentes materiales en el circuito eléctrico del amplificador instrumental. Ocasionalmente se presentan errores provocados por uniones de distintos metales formando pequeños "termopares". Un estudio realizado por National, demuestra que muchas veces, los efectos de tales uniones se anulan entre sí, ya que los materiales se intercalan, de modo que la fem de una unión es contraria a la de otra. Esta cancelación de fems puede no ser suficiente para desprestigiar su efecto total, especialmente si el circuito se encuentra en lugares donde el gradiente de temperatura sea muy grande o existan corrientes de aire.

Es importante mencionar que si el diseño del circuito termométrico incluye interruptores, estos deben ser de muy alta calidad para prevenir la degradación de la señal por ruido. En el caso de existir un switcheo automático este no debe ser a menos de una vez por segundo ya que de otro modo el ruido sería excesivo.

Materiales Estándar.

Muchos de los termopares Industriales y científicos usados en termometría están fabricados con materiales estándar. Estas normalizaciones son identificadas por una letra en lugar de la combinación de metales que la constituyen.

Las letras con las que se han designado los diferentes tipos de termopares fueron estandarizadas por la ANSI, ASTM, y la ISA (American National Standards Institute, American Society for Testing Materials, and Instrument Society of America, respectivamente).

A continuación se presenta una tabla que muestra esta estandarización. Los tipos S, R, y B (Todas combinaciones de platino- platino/rhodio) son conocidas como de metales nobles y las demás como de metales base.

TABLA 2

TIPO	MATERIAL
B, Rango Térmico: 0,1820 °C	Platino/30%Rhodio-Platino/6% Rhodio
E, Rango Térmico -270,1000° C	Niquel/Cromo - Cobre/ Niquel
J, Rango Térmico - 210,1200° C	Hierro - Cobre/Niquel (Constantan)
K, Rango Térmico: -270,1372° C	Niquel/Cromo-Niquel/Aluminio
R, Rango Térmico: 50-1767° C	Platino /13% Rhodio - Platino
S, Rango Térmico: 50-1767° C	Platino /10% Rhodio - Platino
T, Rango Térmico: 270- 400°C	Cobre- Cobre/Niquel.

Por las características del termopar tipo "J" tanto en rango como en precio y aplicación, se eligió trabajar con esta combinación. La siguiente sección profundiza en el estudio de este termopar. Información semejante pero de combinaciones diferentes puede encontrarse en la bibliografía.

2.4 El Termopar tipo "J" Hierro-Constanán.

Este es uno de los tipos de termopar más comunes en la industria por su coeficiente de Seebeck relativamente grande y su bajo precio. Sin embargo, es el menos exacto para termometría ya que presenta desviaciones no lineales significativas en la fem termoeléctrica dependiendo del fabricante. El elemento térmico positivo es normalmente hierro comercialmente puro (99.5%), usualmente contiene significativas impurezas de carbón, cromo, cobre, manganeso, fósforo, silicio, níquel y azufre. El cable de termopar representa tan pequeña proporción de la producción normal de hierro, que los productores no controlan la composición química del material para mantener las propiedades termoeléctricas. Por esta razón, los fabricantes de termopares y equipos de instrumentación deben seleccionar el material para mantener el control adecuado de sus productos.

El elemento térmico negativo es una aleación de cobre y níquel conocida como constantán. Usualmente contiene 55% de cobre, 45% de níquel y una pequeña pero térmicamente significativa porción de hierro y manganeso (0.1% o más). Es importante mencionar que el constantán del termopar tipo J no es compatible con el tipo T o N aunque a todos ellos se les llame igual, por ese motivo al elemento negativo del termopar J se le llama SAMA constantán.

Los fabricantes de termopares tipo J, seleccionan el hierro y el constantán de tal modo que la salida total de esta combinación pueda alcanzar temperaturas de 760°C, pero teniendo cuidado de una buena selección, se puede lograr que la calibración sea tan precisa como la de los termopares tipo K más costosos.

Los primeros documentos que muestran el uso del termopar tipo J datan de 1892, pero la primera tabla para calibración la publicaron Leeds y Northrup en 1913 y se usó hasta 1930 como estándar, presentaba una relación de temperatura contra fem termoeléctrica hasta los 760°C. En 1930 Roeser y Dahl publicaron una nueva tabla de las características termoeléctricas del hierro y del constantán pero difería alrededor del 2% de la tabla anterior, por lo que se decidió llamar a los termopares que siguieran esta nueva tabla como de tipo "Y".

En cualquier caso, cada fabricante presentaba una nueva tabla usando como referencia los estándares, pero adecuándolas a su material.

En un esfuerzo por promover la uniformidad, un sección de la Scientific Apparatus Makers of America (SAMA) publicó en 1953, tras una investigación de varios años, una nueva tabla en la que se acercan mucho los datos a la de 1913 y esta es la que se acepta en la actualidad como estándar.

El termopar tipo J es recomendado por la ASTM (American Society for Testing and Materials) para su uso en un rango de 0 a 760°C en vacío, atmósferas oxidantes, reductoras o inertes. Si es usado por largo tiempo en temperaturas superiores a los 500°C. se recomienda el uso de alambres de alto calibre porque a tales temperaturas la oxidación se incrementa. El manual de la ASTM propone restringir su uso en atmósferas sulfurosas arriba de 500°C. Por su potencial de corrosión tampoco se recomienda en mediciones bajo cero. No se debe ciclar por arriba de los 760°C si se quiere usar para lecturas por debajo de ese rango posteriormente.

Aunque el hierro sea relativamente insensible, debido a que el cobre se convierte en níquel y zinc, no es adecuado el uso de este termopar en ambientes radioactivos.

El hierro sufre de transformación magnética a los 769°C y en la forma de sus cristales a los 910°C. Estos cambios físicos alteran significativamente las propiedades termoeléctricas. Por esta razón no se recomienda el uso de este termopar por encima de los 760°C; su calibración se perderá al regresar a temperaturas inferiores.

El límite de los 760°C se aplica a los alambres de 3.3mm AWG 8. para alambres más delgados este decrece: 593°C para 1.6mm AWG 14, 482°C para 0.8mm AWG 20 y 371°C para 0.5 y 0.3mm AWG 24 y 28.

Es posible calcular el voltaje termoeléctrico de los termopares tipo J con un polinomio cuyos coeficientes se presentan a continuación. Un segundo polinomio se define para temperaturas superiores a los 760°C, pero por los motivos antes explicados, su uso no es recomendable para una estandarización.

TABLA 3.- Coeficientes del Polinomio que muestra el Voltaje Termoelectrico de un Termopar Tipo J en Forma Estandarizada.

RANGO DE TEMPERATURA	7ºGRADO	COEFICIENTE-TERMINO
-210...760°C		7.5.0372753027 E-1 T
		3.0425491284 E-2 T2
		-8.5669750464 E-5 T3
		1.3348825735 E-7 T4
		-1.7022405966 E-10 T5
		1.9416091001 E-13 T6
		-9.6391844859 E-17 T7
760...1200°C	5º GRADO	2.9721751778 E5 *
		-1.5059632873 E3 T
		3.2051064215 T2
		-3.2210174230 E-3 T3
		1.5949968788 E-6 T4
		-3.123980752 E-10 T5

2.5 Bibliografía.

- STP 470 - Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement . . American Society for Testing and Materials, ASTM, Philadelphia 1970.
- POWELL, Robert L. "Thermocouple Thermometry," (F.I. QC271-A6)
- Temperature, Its Measurement & Control. ASTM (F.I. QC271/A6)
- HOLMAN, J.P. Métodos Experimentales para Ingenieros. Mc. Graw-Hill 1984 México.
- Thermocouples, Assemblies, Components & Wire. Honeywell Process Control Division. USA 1-1987.
- Temperatura. Obras Colectivas AIP (F. I. QC271- A6).
- Instrumentation in Science Research (F.I. QC543/L6)
- Mediciones en Ingeniería. (F.I. TA165)
- NORTON, H.N. Sensores y Analizadores. Ed. Gustavo Gili Barcelona 1982.

CAPITULO 3.

IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO

3.1 Introducción.

Este capítulo, muestra los parámetros que se utilizaron para seleccionar los componentes que forman al controlador.

Inicialmente se discute sobre los diferentes microprocesadores comerciales factibles para el diseño de un controlador, y se presenta una tabla con la que se justifica la elección.

Posteriormente se propocionan las caracterfsticas de cada una de las partes que componen al sistema, comenzando con el amplificador de instrumentación usado para acoplar la señal del termopar al convertidor analógico digital, continuando con este último, para después describir la arquitectura de la tarjeta principal del equipo, que reúne al microprocesador, temporizadores, puertos, memorias, decodificadores y reloj.

Este capítulo está enfocado principalmente al hardware del controlador. La descripción del firmware se desarrolla más adelante.

Cada módulo del sistema, se presenta en forma independiente con diagramas que justifiquen los conceptos del diseño. Con el propósito de evitar confusiones, tales diagramas muestran solamente la parte del circuito que se discute. Los diagramas generales aparecen en el Apéndice 5.

3.2 Selección de la Arquitectura.

La selección del microprocesador del sistema, se fundamenta principalmente en los siguiente parámetros:

- a)Facilidad para adquirirlo.
- b)Precio.
- c)Facilidad de programación.
- d)Filosofía de la arquitectura interna.
- e)Posibilidad de modernización y/o expansión.

a)Facilidad para adquirirlo.- Algunos circuitos integrados para aplicaciones especiales son muy difíciles de conseguir, aún importándolos. Los de uso común en

aplicaciones comerciales pueden ser también difíciles de encontrar debido a que los fabricantes de equipos acaparan el mercado. Al considerar este parámetro, se tomó en cuenta tanto el mercado nacional como el internacional, la facilidad para adquirir el microprocesador y sus periféricos. Se verificó la cantidad de firmas que fabrican el mismo tipo de circuito y las diferentes adaptaciones que se pueden hacer.

Los microprocesadores de aplicación comercial más comunes son:

Z80 de Zilog

8088 de Intel

8086 de Intel

6502

6809 de Motorola

68000 de Motorola.

b) Precio.- Uno de los objetivos de este proyecto es que el controlador desarrollado pueda ser adquirido a bajo costo. Los dispositivos que lo forman deben, por consiguiente, ser de bajo costo.

La relación de precios encontrada, aparece en la tabla 4.

c) Facilidad de programación.- Debido al tamaño del firmware, es imposible grabar "byte por byte" manualmente las memorias EPROM que guardan el código de máquina. Por este motivo, es necesario contar con software y equipo adecuado para escribir las subrutinas, ensamblarlas, depurarlas, ligarlas y posteriormente grabarlas.

Este parámetro se calificó en la tabla 4.

d) Filosofía de la Arquitectura Interna.- Cada microprocesador fué diseñado para cumplir con ciertas características. La arquitectura interna de cada microprocesador difiere en la forma de acoplarse a las necesidades de un sistema particular. Por este motivo, algunos microprocesadores sirven mejor para ciertas actividades que otros.

Las diferencias más significativas se encuentran entre las dos marcas que dominan el mercado: Motorola e Intel. Otros fabricantes como Zilog, NEC, Mitsubishi y Toshiba, siguen la misma filosofía que Intel.

Filosofía Intel: Su característica más importante es la separación del mapa de memoria y el de periféricos. Esto se logra con uno o dos pines que indican el momento en que se lee o escribe en memoria y en el que se hace lo mismo en algún periférico.

La serie 808x realiza en forma directa algunas operaciones que ni el 8080 ni el Z80 permiten, entre ellas está la multiplicación, división, y paginación de memoria usando varios apuntadores. Una característica muy adecuada para sistemas sin o con muy pocas interrupciones, es el manejo de instrucciones en cola, las

instrucciones, son leídas de memoria en forma previa a su procesamiento y son almacenadas en registros internos de tipo FIFO, Esto acelera el procesamiento ya que el tiempo del ciclo de fetch resulta transparente.

La arquitectura Intel permite un uso muy eficiente de periféricos por lo que se utiliza extensamente en diseños de controladores.

Filosofía Motorola: En los diseños de este fabricante existe sólo un mapa donde se accesa tanto memoria como periféricos. Esto trae consigo algunas desventajas cuando se realizan búsquedas de datos en memoria pues existe el peligro de modificar configuraciones en periféricos.

La gran ventaja de la filosofía Motorola es el uso tan eficiente de apuntadores. Esto facilita a sus usuarios el desarrollo de sistemas con bases de datos y, en computadoras, paquetes gráficos.

Motorola modificó totalmente su filosofía al brincar de la serie 68xx a la serie 68xxx. El principal cambio es que todos los registros del 68xxx son multiusos y no de tareas específicas como en los 68xx. La familia 68000, permite la programación en varios modos distintos, lo que brinda mucha seguridad en el manejo de información.

e) **Facilidad de modernización y/o expansión.**- Con la velocidad a la que aparecen nuevos avances en la electrónica, es necesario planear, desde un inicio, futuras expansiones o modernizaciones. De no ser así, se corre el peligro de caer rápidamente en la obsolescencia.

Uno de los parámetros usados en la selección del microprocesador es el de poder reducir más adelante las dimensiones del equipo mediante la substitución de varios circuitos por otros de mayor integración, sin cambiar la estructura del firmware. Los microcontroladores son circuitos VLSI que permiten substituir el microprocesador y varios de sus periféricos en forma directa y totalmente compatible. No todos los microprocesadores tienen microcontroladores compatibles o que integren los periféricos necesarios para el sistema diseñado.

Basados en los parámetros anteriores, se obtuvo la siguiente tabla:

TABLA 4. Comparación Entre los Diferentes Microprocesadores Comerciales.

Nombre : Z80. Filosofía: Zilog, tipo Intel. **Precio:** de \$1.25 USD a \$2.75 USD.

Adquisición: Muy Fácil. Más de seis fabricantes.

Programación: Muy fácil. Existen ensambladores, simuladores y emuladores.

Expansiones y modernizaciones: Gran variedad de microprocesadores y microcontroladores que son compatibles.

Nombre : 6502. Filosofía: Tipo Motorola. **Precio:** de \$ 2.25USD a \$ 9.00 USD.

Adquisición: Difícil. Un solo fabricante, tiende a desaparecer.

Programación: Usando una Apple II, el desarrollo es limitado, se requiere desarrollo adicional.

Expansiones y modernizaciones: No comerciales.

Nombre : 8088/8086, Filosofía: Intel. **Precio:** de \$ 6.00 USD a \$ 12.00USD.

Adquisición: Muy fácil en EUA , difícil en México. Múltiples fabricantes.

Programación: Muy sencilla, a través de cualquier PC.

Expansiones y modernizaciones: Existen muchas y muy variadas, pero no se acoplan a las necesidades del proyecto.

Nombre : 6809. Filosofía: Motorola. **Precio:** de \$ 2.95 USD a \$ 6.00 USD.

Adquisición: Difícil. Un solo fabricante, tiende a desaparecer.

Programación: Difícil, se requiere equipo especial tal como el EXOReiser, que casi no hay en México.

Expansiones y modernizaciones: Existen, pero difíciles de programar.

Nombre : 68000. Filosofía: Motorola. **Precio:** de \$10.00 USD a \$ 63.00USD.

Adquisición: Difícil. Un solo fabricante

Programación: Difícil, se requiere equipo especial.

Expansiones y modernizaciones: Existen, pero son muy caras y poco comerciales.

Considerando la información anterior, se seleccionó la arquitectura Z80:

- Es el circuito más fácil de adquirir.
- Su precio es el más reducido.
- Hay tanta infraestructura creada a su alrededor y tantos fabricantes que lo producen, que no se espera se descontinúe próximamente.
- La programación del firmware se puede basar en una PC con un Cross Assembler. Existe además bastante software desarrollado alrededor de este microprocesador para simular y evaluar programas.
- Han aparecido comercialmente en varias presentaciones que varían en precio dependiendo de las características. La versión normal de 2Mhz es la más barata, hay versiones mejoradas en velocidad (4 y 6MHz) y consumo de potencia, ya se han liberado configuraciones CMOS, que reducen enormemente el consumo de energía permitiendo incluso la alimentación con baterías sin que haya que intercambiarlas frecuentemente.
- La presentación de este circuito originalmente era DIP 40 pines, pero ya se puede encontrar en montaje de superficie.
- Es posible adquirir gran variedad de microcontroladores que le son totalmente compatibles. De hecho, las direcciones de los periféricos son las mismas que en las de un microcontrolador liberado por Toshiba en junio de 1989.

3.3 Adquisición de Datos.

Como se indicó anteriormente; la magnitud del voltaje que el termopar nos entrega como fem térmica, depende del tipo de termopar y de la región donde se esté realizando la lectura. Es parte del diseño del equipo lograr que la salida sea constante y además en una escala fácil de trabajar y de relacionar con otros dispositivos que sirvan de compensación.

Sin importar el tipo de transductor, el Convertidor analógico-digital toma como entrada un voltaje, que se espera estandarizado para cada unidad de la VP, y lo codifica en forma digital.

Por otra parte, la salida de cualquier termopar es muy débil, ruidosa y poco significativa para considerarse como entrada directa al convertidor.

En el ambiente industrial, el ruido por lo general es generado por la cercanía de equipos de potencia como generadores y motores, y por el efecto de "antena" que la longitud del cable del termopar incrementa.

Considerando las razones anteriores, se denota la necesidad de tener una fase de amplificación que proporcione una salida proporcional a la fem térmica pero

en una escala mucho más fácil de trabajar. Esta fase de amplificación, deberá tener las siguientes características:

- Ganancia calibrable para ser ajustada según el rango en el que se trabaja principalmente y el termopar que se utiliza.
- Ganancia muy grande para que la señal de salida se encuentre en una escala más fácil de trabajar y que el ruido que se pudiera llegar a generar en fases posteriores sea relativamente pequeño.
- Muy bajo índice de ruido, porque al tener gran ganancia cualquier señal de ruido proporcionaría un error considerable.
- Muy bajo voltaje de offset a la entrada, para que al amplificar no se presenten señales ajenas a la medición misma.
- Muy bajo drift, porque la variación en la temperatura del dispositivo podría afectar la señal de la temperatura leída.
- Pocos elementos, porque cuantos más elementos tenga el dispositivo mayor será el cableado, aumentando la posibilidad de tener "antenas" que introduzcan ruido a la señal del termopar. Cada elemento extra, puede proporcionar un cierto error a la lectura ya que puede tener variaciones con el tiempo, temperatura, etc. Además un mayor número de elementos aumenta el precio del equipo y el espacio que ocupa, consumen más potencia y calientan el equipo.

Después de un análisis de diferentes tipos de circuitos amplificadores, se observa la ventaja de armar la fase de amplificación con un solo circuito integrado que reúne los requisitos mencionados anteriormente. El amplificador operacional OP-27 de Motorola, es un circuito integrado con características ideales para la instrumentación. Las especificaciones del fabricante se pueden ver en el apéndice 4; este amplificador operacional fue diseñado para trabajar con ruido prácticamente despreciable, con mucha precisión y con gran velocidad de respuesta. Tiene un voltaje offset de entrada máximo de 25 microvolts y un drift máximo de $1.8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Para poder trabajar fácilmente con la señal medida por el termopar se seleccionó una escala de salida que proporcione alrededor de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.¹ de este modo una diferencia de temperatura de 10 grados entre la punta fría y la caliente del termopar serán equivalentes a una señal de 100 mV ; cada volt equivale a 100°C y por lo tanto si la polarización del amplificador es con fuentes de $+12\text{V}$ y -12V se puede medir sin saturar al operacional (y suponiendo que estas temperaturas existieran) de -1100°C a 1100°C , esto indica que la escala en voltaje comprende totalmente la escala de temperatura que el termopar nos puede medir estando incluso sobrado.

¹ Al hablar de los termopares se mencionó que se respuesta no es, con mucho, una respuesta lineal, por lo que no se puede esperar que después de la fase de amplificación lo sea. Al decir alrededor de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ se refiere a que el punto inicial de calibración cumplirá esta acepción y el resto de los puntos se linearizarán por software o hardware en fases posteriores.

El capítulo anterior menciona que el termopar elegido para el sistema es el tipo "J"; este transductor, entrega en el rango de 0°C a 50°C un promedio de 52µV/°C.; Para obtener a partir de este microvoltaje una señal de 10mV/°C, es necesario amplificar la señal con una ganancia de:

$$G = V_{\text{salida}}/V_{\text{entrada}} = (10,000\mu\text{V}/^\circ\text{C})/(52\mu\text{V}/^\circ\text{C})$$

$$G = 192.30$$

La configuración del amplificador será entonces en forma no inversora y con una ganancia de 180 + (0....22); es decir, se pondrá una retroalimentación formada por una resistencia constante y un potenciómetro variable pero de precisión, para lograr así los ajustes que se requieran según la región donde se trabaje.

Para asegurar que el amplificador tenga una variación mínima con cambios ambientales de temperatura se hizo el siguiente análisis:

Rango aceptable de temperatura ambiente: de 0 a 60°C.

Drift máximo del OP-27: 1.8 µV/°C.

Ganancia: 193.

Suponiendo que la calibración del equipo se haga a 0°C. y se encuentre operando a 60°C. (peor caso), entonces la variación en el voltaje debido a la temperatura ambiente estará dada por:

$$60^\circ\text{C} \times 1.8 \mu\text{V}/^\circ\text{C} = 108 \mu\text{V}$$

al amplificar se tendrá un error máximo de:

$$108 \mu\text{V} \times 193 = 20,844 \mu\text{V}$$

o expresado de otra forma, el máximo error que el amplificador de instrumentación presentará ante los cambios de temperatura ambiente es de 20.844 mV que es equivalente a dos grados centígrados. Si consideramos que la temperatura de calibración real no es de 0°C sino la ambiente (alrededor de 25°C.), y que generalmente los tableros de control en las industrias están montados en lugares que alcanzan una temperatura máxima de 40°C, entonces el cálculo del error es mucho menor (aproximadamente la cuarta parte). Por otro lado, la mayoría de los procesos industriales que utilizan controladores como el que se diseña, requieren de control de temperaturas por encima de los 200°C. lo cual nos indica que el error porcentual nunca será mayor del 1.042%.

3.4 FASE DE COMPENSACION.

El setenta y cinco por ciento de los controles de temperatura comerciales revisados, no contemplan la triple compensación que requiere toda medición térmica con termopar.

Como ya se ha mencionado, el termopar proporciona una fem proporcional a la diferencia de temperatura entre su punta fría y su punta caliente, es decir, que si la punta fría está a 20°C y la caliente está a 40°C , la fem térmica será la misma que si la punta fría se encontrara a 80°C y la caliente a 100°C .

La compensación de la punta fría es el método mediante el cual se obtiene como salida una señal proporcional a la temperatura real del medio donde se encuentra inmersa la punta caliente; el método usado en los primeros experimentos con termopares (Lord Kelvin), era el de mantener la punta fría a una temperatura de 0°C , así no es necesaria una compensación extra (esta es la razón por la que la punta fría se llama así). Pero resulta complicado mantener siempre sumergida la punta fría en agua con hielo. Otros métodos consisten en mantener la punta fría a una temperatura cualquiera pero constante, y la suma de esta temperatura y la proporcional a la de la fem térmica es la equivalente a la temperatura leída; por ejemplo, si la punta fría se mantiene constante a 40°C y la fem entregada por el termopar es equivalente a una diferencia entre las puntas de $+20^{\circ}\text{C}$; entonces la temperatura medida es de 60°C . Este tipo de compensación de punta fría es mejor que el hielo porque hace al equipo de medición más transportable, pero le disminuye confiabilidad por varios motivos:

a) En general se compensa la punta fría a temperaturas mayores de la ambiente por lo que el termopar entrega valores negativos en el rango menor a la de compensación, algunos tipos de termopar no tienen una respuesta lineal en esta región de trabajo.

b) El método comúnmente utilizado para mantener la temperatura de la punta fría regulada y constante es la de montar la punta fría sobre el disipador térmico de un transistor polarizado de tal modo que la potencia disipada caliente al disipador a una temperatura dada. El problema se presenta cuando existen corrientes de aire que modifiquen la temperatura de la punta fría; además, para asegurar una temperatura precisa, es necesario proporcionar un voltaje de polarización preciso; los circuitos reguladores de voltaje comerciales no tienen tal precisión en su voltaje ya que son muy susceptibles a la temperatura ambiente; generar una fuente propia para polarizar el transistor de "calefacción" tampoco resulta viable tanto por razones económicas y de espacio como por incrementar la cantidad de dispositivos que pueden generar ruido al actuar como "antenas" y tener variaciones por drift.

Quizá lo mencionado anteriormente fue el motivo por el que la mayoría de los equipos de control de temperatura existentes en el mercado no compensen la punta fría de su termopar limitándose a mencionar en el instructivo de instalación que el control debe estar montado en un lugar "fresco y libre de corrientes de aire". Lo cierto es que la compensación de punta fría es necesaria para un control térmico preciso y confiable.

Una técnica moderna para la compensación de la punta fría, consiste en permitir que la punta fría se exponga directamente a la temperatura ambiente y sumar la fem térmica del termopar con una señal proporcional a la temperatura que

La adición se puede realizar analógicamente con amplificadores operacionales o en el software. Este último método implica tener un segundo convertidor A/D.

En el circuito, la compensación de la punta fría se realiza sumando en el mismo amplificador instrumental OP-27 el voltaje proporcionado por un diodo polarizado en directa, independientemente del voltaje de polarización, el voltaje térmico V_T proporcionado por el diodo se puede calcular a partir de la relación siguiente:

$$V_T = kT/q$$

donde k es la constante de Boltzmann y es equivalente a 1.38×10^{-23} J/K,

T es la temperatura expresada en grados kelvin,

y q es la carga del electrón (1.6×10^{-19} C).

Para la temperatura ambiente (300K) $V_T = 25$ mV.

Dicho de otra forma, el diodo funciona como una fuente de voltaje proporcional a la temperatura que entrega $86.25 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Como se quiere que la temperatura se exprese en grados centígrados, se resta un voltaje equivalente a los 273.16°C , esta calibración se hace con un potenciómetro de muy baja resistencia para no afectar la impedancia de entrada del operacional.

Es importante hacer notar que para "separar" los circuitos del termopar y de compensación de punta fría se implementó este último del lado negativo del operacional con voltajes también negativos, por lo que el efecto final no se altera.

El segundo tipo de compensación que requiere el termopar es la respuesta en frecuencia. En la mayor parte de los procesos industriales, la temperatura es una variable que cambia a muy baja velocidad, realizar lecturas rápidas no sólo hace más lento el ciclo de control, sino que también le resta confiabilidad ya que las pequeñas variaciones que se pudieran medir en muy breves lapsos de tiempo, no son variaciones reales de la temperatura sino desperfectos en la lectura misma, causados por ruido en la línea. Las dos formas más usuales de manejar lecturas de temperatura son a través de filtros pasobajas antes de la fase de conversión A/D, y por lecturas controladas en tiempo. El sistema se diseñó con las ambas. El filtro pasobajas funciona como acoplamiento del amplificador al convertidor A/D, impidiendo el paso de frecuencias altas. El filtro es pasivo, diseñado con un capacitor de $0.22 \mu\text{F}$ y una resistencia de $100 \text{K}\Omega$, con lo que la constante de tiempo es de $T = RC = 0.022$ s y la frecuencia de corte es $f_c = 1/T = 45.45$ Hz.

Por otro lado, el controlador, fue diseñado de tal modo que las lecturas sólo se realicen en lapsos controlados de tiempo sin importar la cantidad de ciclos que el sistema de control haya realizado. Esto se logra mediante la programación de temporizadores internos que deshabilitan la lectura mientras que no se haya llegado al tiempo deseado.

el sistema de control haya realizado. Esto se logra mediante la programación de temporizadores internos que deshabilitan la lectura mientras que no se haya llegado al tiempo deseado.

Con el método de conversión, y debido al rango permisible de temperatura, el tiempo mínimo que se requiere para realizar una conversión es de 6mS, este dato se puede encontrar del siguiente modo:

Si la temperatura máxima es de 1100.0°C., y considerando que la precisión del equipo es de décimas de grado, la cantidad máxima de pulsos que se tienen que contar es de 11000; si la frecuencia del reloj es de 2Mhz, el tren de pulsos de conversión dura $0.5\mu S \times 11000 = 5.5mS$, dando un margen de error grande se puede decir que el tiempo mínimo para asegurar una lectura confiable es de 6mS.

Considerando que no se requieren lecturas tan rápidas, y tomando en cuenta que la mayor parte de los equipos comerciales semejantes realizan lecturas entre 1 y tres veces por segundo, se programó el temporizador del sistema para realizar lecturas cada 30mS, de este modo, queda asegurada una confiable, estable y la relación de velocidad del equipo no se ve alterada, además se ubica como el equipo más veloz entre los equipos comerciales existentes.

La tercera compensación requerida al medir temperatura utilizando termopares, es la linealización; ya que este transductor no tiene una respuesta lineal.

Existen dos métodos usuales para linealizar la fem térmica, el primero es por software y el segundo por hardware. Originalmente se pensó realizar esta compensación dentro del firmware, de tal modo que el dato leído pasara por un selector de rango donde se define la región a la que pertenece, y según esta, linealizar. Se hicieron pruebas simulando en una hoja de cálculo la entrada con el polinomio del termopar "J" descrito en la tabla 3 del capítulo anterior, y diferentes salidas que presentaban una respuesta procesada por diferentes métodos de linealización (con aproximaciones a través de curvas polinomiales, exponenciales y trigonométricas), detectando que lo más conveniente es linealizar por regiones con seis "rampas" diferentes de primer orden que aparecen listadas en la tabla 5.

Con este método, se logra una compensación teórica con error menor al 0,5% en los puntos donde se juntan dos rampas.

Es importante mencionar, que aunque los cálculos utilizaron ambos polinomios "J", abarcando un rango amplio, no se recomienda su aplicación en la región superior a los 760°C. Se incluyen las rampas sólo como información.

A partir de lo anterior se concluye que siendo la ecuación logarítmica inversa a la exponencial, es posible linealizar si se regula la fem térmica con un diodo. Se puede incluir dos diodos encontrados para que cada uno de ellos actúe dependiendo de si la lectura es positiva o negativa.

Aunque linearizar por software parece ser más confiable, presenta algunas desventajas importantes como son:

- La multiplicación de fracciones es una subrutina que requiere muchos ciclos de reloj, esto hace muy lento el proceso de conversión y en general, retrasa todo el ciclo de control.
- La sección de selección de rampas y linealización por software es muy extensa en el programa del firmware por lo que la memoria EPROM donde se almacena requiere ser de mayor capacidad, incrementando el precio.
- Además, los diodos ayudan en el circuito de instrumentación, a anclar el drift, reduciéndose el error.

Los motivos anteriores justifican la implementación de la fase de compensación, tal y como se ilustra en los diagramas anexados en el apéndice 5.

3.5 FASE DE CONVERSION ANALOGICA DIGITAL.

Existen varias formas para realizar conversiones analógico - digitales. Casi todas ellas se se pueden encontrar en algún dispositivo comercial. Generalmente estos dispositivos presentan las siguientes características:

- Programación y lectura directamente desde el bus del microprocesador (también se pueden encontrar los que se leen a través de un puerto).
- Su costo ha disminuido considerablemente en los últimos años, pero se sigue manteniendo dentro de un rango presumiblemente elevado.
- Requieren un voltaje de referencia que indica el valor máximo que se puede convertir. Por lo general 5V.
- La precisión es muy variable, los más comunes tienen ocho bits pero se encuentran también algunos de doce y dieciséis bits (+ - 1/2 LSB de exactitud).
- Se pueden conectar en cascada para conversiones con mayor exactitud y precisión, pero esto implica realizar una doble programación.
- Muchos de los C A/D actuales, permiten leer en forma no simultánea por multiplexación varios canales, de tal modo que se pueden registrar varios procesos a la vez.

Por las características del sistema desarrollado se requiere una conversión de dieciséis bits a gran velocidad.

Para tratar de aprovechar al máximo la arquitectura, y debido a que muchos de los C A/D's no llenaban los requisitos del sistema, se implementó un convertidor A/D con los canales del CTC no usados por el reloj.

La conversión se hace por conteo de pulsos de tiempo. Dos canales del CTC están conectados en cascada, al primero recibe la señal de una compuerta AND y el segundo cuenta las veces que el primero se satura.

La compuerta AND tiene por entradas al reloj del sistema, y una señal digital que proviene de un comparador entre el voltaje que se desea convertir y el voltaje variable de una rampa generada en un capacitor.

El algoritmo de conversión se realiza en dos partes. En la primera se descarga el capacitor y se le permite volver a cargarse a través de un potenciómetro y un transistor que se polariza entre las regiones de corte y saturación de modo que trabaja como swich. Previo a la recarga del capacitor, se resetean los canales del CTC y se reprograman como contadores de eventos.

La calibración se realiza en el potenciómetro de precisión. Por el, fluye la corriente que carga al capacitor. la relación RC variará modificando la velocidad a la que se carga el capacitor, dando a su vez mayor o menor inclinación a la pendiente de la rampa de voltaje. Una pendiente más pronunciada ocasiona que la comparación se logre antes reduciendo la cantidad de pulsos contados. Contrariamente, una pendiente poco pronunciada incrementa el tiempo que el comparador permite el paso de pulsos con lo que la conversión dará por resultado un número mayor.

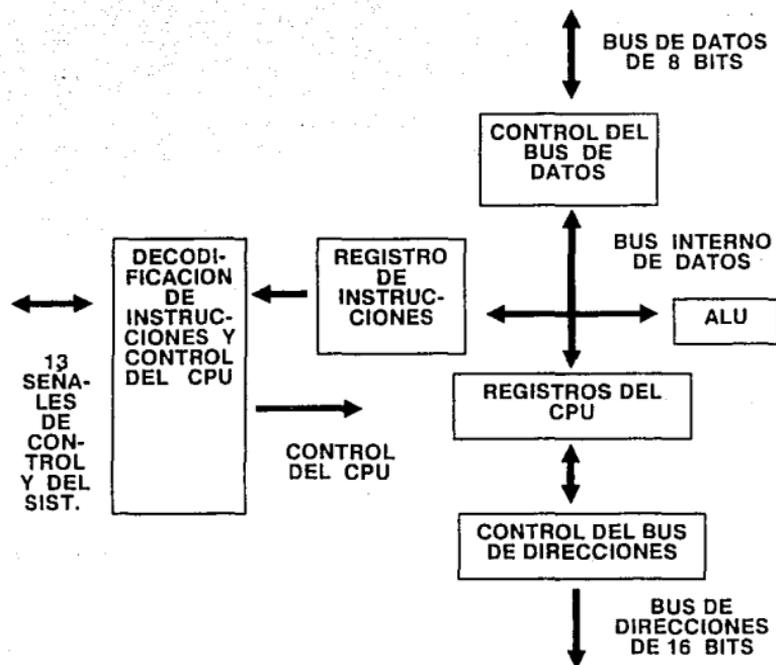
La segunda parte de la conversión, se realiza por lo menos 6ms después de la subrutina inicial para que la lectura haya terminado. En esta fase, el microprocesador lee la cantidad de pulsos que se contaron en ambos canales del CTC, los reúne y almacena como una sola palabra de 16 bits.

3.6 Arquitectura del sistema

3.6.1 El Microprocesador Z80.

Un diagrama de bloques del Z80CPU, se observa en la figura 5a.

El Z80CPU contiene una memoria de lectura y escritura de 208 bits accesibles al programador. Esta memoria esta dividida como muestra la figura 5b, en dieciocho registros de ocho bits cada uno y cuatro de dieciseis. Todos los registros del Z80 están implementados con Memoria RAM Estática. Los registros incluyen dos conjuntos de seis registros de uso general que pueden ser usados en forma independiente como registros de ocho bits o en pares de dieciseis bits. También existen dos acumuladores con sus respectivos registros de banderas.



SET PRINCIPAL

SET ALTERNATIVO

ACUMULADOR	BANDERAS	ACUMULADOR	BANDERAS
A	F	A'	F'
B	C	B'	C'
D	E	D'	E'
H	L	H'	L'

VECT. INT. I	REF. MEM. R
REG. INDICE IX	
REG. INDICE IY	
STACK POINTER SP	
PROGRAM COUNTER PC	

Figura 5.

Registros de Uso Específico.

1.- Program Counter (PC).- El Contador de Programa contiene la dirección de dieciséis bits que señala al registro de memoria actualmente leído como instrucción para ser ejecutada. El PC es incrementado automáticamente después de que su contenido es transferido al bus de direcciones. Cuando un brinco ocurre en el programa, la nueva dirección es automáticamente ubicada en este registro.

2.- Stack Pointer (SP).- El apuntador del stack mantiene una dirección de dieciséis bits que señala la parte superior de la pila (stack), ubicada en cualquier parte en la RAM. La pila externa de memoria se organiza como un archivo LIFO (Last in First Out) de tal modo que el último dato almacenado en el stack será el primero en leerse. La información puede ser almacenada y leída en y desde el stack con auxilio de instrucciones como PUSH y POP. El stack es un auxiliar muy poderoso en el manejo de interrupciones, subrutinas e intercambios de información entre registros.

3.- Registros de Índice (IX e IY).- Los dos registros independientes de índice permiten almacenar cada uno direcciones de dieciséis bits para usarse en direccionamientos indexados. En este modo de direccionamiento, los registros son utilizados como base para apuntar a alguna región de memoria. Un byte adicional es incluido en la instrucción indexada para especificar el desplazamiento desde la base.

4.- Registro de Dirección de Página de Interrupción (I).- El Z80 puede trabajar en un modo tal, que un llamado indirecto a una localidad específica de memoria pueda ser ejecutado como una respuesta a una interrupción. El Registro I es usado para guardar los ocho bits más significativos de la dirección indirecta de la subrutina de interrupción. Los otros ocho bits, los proporciona el dispositivo que interrumpió como un vector.

5.- Registro de Refresco de Memoria (R).- Este registro permite desarrollar una arquitectura con memorias RAM dinámicas con tanta facilidad como con las estáticas ya que se incrementa automáticamente con cada ciclo de fetch, y durante este, el bus de direcciones tendrá el contenido del registro R en la parte baja y de I en la parte alta. esto es transparente para el usuario y no hace más lento el proceso.

6.- Acumulador y Registro de Banderas.- El Z80 incluye dos acumuladores independiente asociados cada uno de ellos a un registro de banderas de ocho bits. El acumulador almacena el resultado de operaciones lógicas y aritméticas de ocho bits, y el registro de banderas indica las condiciones posteriores a operaciones de ocho o dieciséis bits. El programador selecciona cual de los dos acumuladores va a usar con una simple instrucción de intercambio.

7.- Registros de Propósito General.- Existen dos conjuntos de registros cada uno de los cuales, contiene seis registros de ocho bits que pueden ser usados en forma independiente o por parejas de dieciséis bits. Uno de los conjuntos es denominado BC, DE y HL; mientras que el otro BC', DE' y HL'. Una simple instrucción se usa para intercambiar el set de registros activos. Esto es

particularmente útil en aplicaciones que requieran acceso a subrutinas de una forma muy rápida, ya que mientras se usa uno de los sets el otro no se ve afectado.

8.-Unidad Lógica Aritmética (ALU).- Las operaciones lógicas y aritméticas de ocho bits son ejecutadas por el ALU. Este permite realizar las siguientes operaciones:

- Suma
- Resta
- AND Lógico
- OR Lógico
- NOR Lógico
- Comparación
- Rotaciones Lógicas y Aritméticas a la Derecha y a la Izquierda
- Incremento
- Decremento
- Prueba de Bits independientes
- Encendido de Bits independientes
- Apagado de Bits independientes.

9.-Registro de Instrucción y Control del CPU.- El programador no tiene acceso a este registro que almacena el código de la instrucción que se deberá realizar y prende o apaga las señales necesarias para que esto se realice.

Descripción de los pines del Z80 CPU.

Los pines del microprocesador Z80 pueden observarse en la figura 6, su descripción se realiza a continuación:

- A0-A15 (BUS DE DIRECCIONES).- Es una salida de tipo Tri-State, activa en alto. constituye el bus de direcciones de dieciséis bits (64KB de memoria). Para acceso a periféricos, sólo se utilizan los ocho bits menos significativos (A0-A7) permitiendo de este modo tener hasta 256 dispositivos periféricos
- D0-D7 (BUS DE DATOS).- Es una salida o entrada de tipo Tri-State, activa en alto. constituye el bus de datos de ocho bits usado para intercambio de información con memorias y periféricos.
- /M1 (PRIMER CICLO DE MAQUINA).- Salida Activa en bajo, indica que el ciclo efectuado en ese momento corresponde al ciclo de fetch de una instrucción. Esta señal también se presenta con una interrupción para mostrar que se ha reconocido.

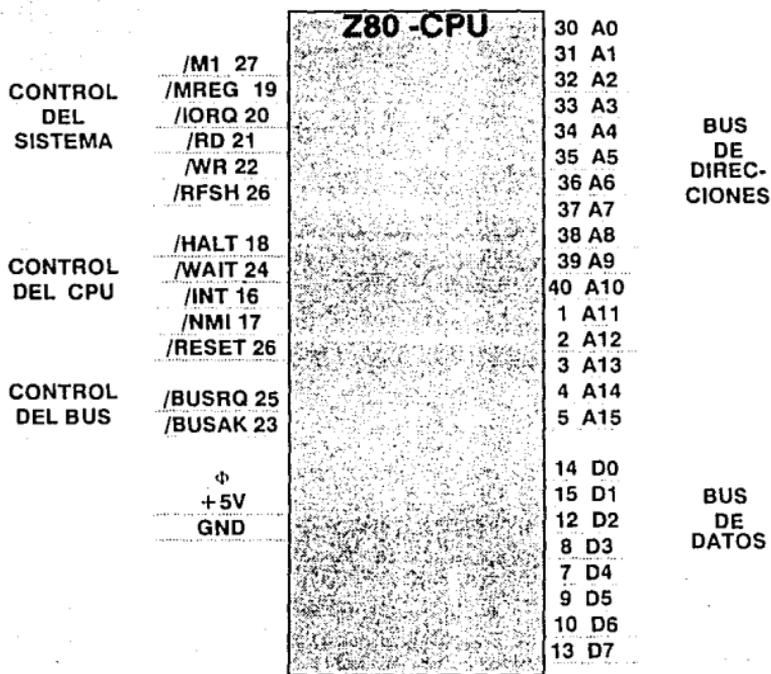


Figura 6.

- **/MREQ (PETICION DE MEMORIA).**- Salida del tipo Tri-state, activa en bajo. Señala que durante el momento de su aparición, en el bus de direcciones hay una palabra válida como dirección para leer o escribir en memoria.
- **/IORQ (PETICION DE MEMORIA).**- Salida del tipo Tri-state, activa en bajo. Señala que durante el momento de su aparición, la parte baja del bus de direcciones contiene un byte válido como dirección para leer o escribir en un periférico. Esta señal también se presenta junto con /M1 para informar que se reconoce la existencia de una interrupción y que se espera el vector de interrupción en el bus de datos. Durante un ciclo de fetch normal, nunca estará activa esta señal.
- **/RD (LECTURA DE MEMORIA).**- Salida del tipo Tri-state, activa en bajo. Indica que el CPU desea leer en memoria o en algún periférico. Los periféricos o la memoria utilizan esta señal para colocar información sobre el bus de datos.

- **/WR (ESCRITURA DE MEMORIA).**- Salida del tipo Tri-state, activa en bajo. Indica que el CPU ha puesto un dato válido en el bus de datos. Los periféricos o la memoria utilizan esta señal para capturar información del bus de datos.
- **/RFSH (REFRESCO).**- Salida, activa en bajo, indica que los siete bits inferiores del bus de direcciones contienen una dirección válida para el refresco de memoria dinámica.
- **/HALT.**- Salida, activa en bajo, indica que el CPU ha ejecutado una instrucción de HALT por lo que detiene la secuencia del programa hasta que una interrupción mascarable (con la máscara habilitada) o no mascarable sea detectada. Mientras tanto el CPU ejecutará instrucciones NOP para mantener la memoria dinámica en refresco constante.
- **/WAIT.**- Entrada, Activa en bajo, le señala al CPU que la memoria, o algún periférico no está aún listo para transferencia de información. El CPU continuará introduciendo estados de espera mientras la señal sea activa. Esta señal permite a cualquier periférico o memoria sincronizarse con el CPU.
- **/INT (Interrupción).**- Entrada, activa en bajo. La petición de interrupción es generada por periféricos. La interrupción será aceptada al final de la instrucción realizada en ese momento siempre y cuando el FLIP-FLOP interno de habilitación de interrupción haya sido habilitado con anterioridad y la señal de petición de bus (/BUSRQ) no esté activa. Cuando el CPU acepta la interrupción, una señal de reconocimiento es generada (/IORQ durante el ciclo M1 de la siguiente instrucción). El CPU puede responder en tres formas diferentes a la interrupción dependiendo del modo en el que se haya preprogramado.
- **/NMI (Interrupción No Mascarable).**- Entrada, disparada por frente negativo. Esta interrupción tiene una prioridad mayor que cualquier interrupción mascarable. Siempre se reconoce al final de la instrucción realizada en ese momento independientemente del estado del FLIP-FLOP de interrupción. /NMI fuerza al CPU a reempezar desde la dirección 0066h de memoria. La dirección que se encontraba en el PC del CPU es automáticamente almacenada en el Stack de tal modo que se pueda regresar de la interrupción cuando se requiera.
- **/RESET.**- Entrada, activa en bajo, Esta instrucción fuerza al CPU a reiniciar desde la dirección cero. El reset incluye además la deshabilitación del FLIP-FLOP de interrupciones, limpieza de los registros R e I, Activación del modo 0 de interrupción.
- **/BUSRQ (Petición de BUS).**- Entrada, activa en bajo. Esta señal le solicita al CPU que le entregue el control de los buses (Poner en estado de alta impedancia los pines de los buses de datos, direcciones y algunos de control) para que el dispositivo solicitante pueda hacer uso directo de ellos.
- **/BUSAK (Reconocimiento de petición de Bus).**- Salida, activa en bajo. Indica al dispositivo solicitante que el control del bus ha sido entregado.
- **φ (RELOJ).**- Es un tren de pulsos de niveles TTL que requiere sólo una resistencia de 330 Ohm de pull-up a 5V.

3.6.2 Decodificación de Puertos y Memoria.

3.6.2.1 El Mapa de Memoria.

Al diseñarse el programa, se procuró que este pudiera caber dentro de un espacio de 4Kb de memoria. Por tal motivo, la memoria EPROM en donde se almacena el firmware, es un circuito M2732 que corresponde a un arreglo de 4096 x 8 bits. Las especificaciones de este circuito están citadas en la hoja de datos que proporciona el fabricante y que se anexa en el Apéndice 6.

El programa puede ubicarse dentro de cualquier región de memoria en los 64Kb que permite direccionar directamente el Z80- CPU. Esto, siempre y cuando exista por lo menos una instrucción de brinco al inicio del programa en la dirección 0000h. Para no usar varias memorias, resulta conveniente ubicar todo el programa dentro de las direcciones bajas de memoria, es decir, los cuatro kilobytes con direcciones 0000h hasta 1000h.

La memoria RAM que se utiliza en el controlador reúne variables del proceso, y parámetros necesarios en las diferentes subrutinas del programa. Se utiliza un circuito MK48Z028 que corresponde físicamente con el pin a la memoria TMM2016, es decir, un arreglo de 2048 X 8 bits. Por ese motivo, tenemos 2Kb de memoria RAM para almacenar y consultar variables que puedan cambiar durante el proceso o de proceso a proceso. La diferencia entre el circuito usado y el que substituye es la capacidad de almacenar la información por diez años sin necesidad de batería externa. Esta memoria es de bajo consumo de potencia y cuenta con una batería propia de níquel-cadmio. Las especificaciones del circuito 2016, están citadas en la hoja de datos del fabricante que se anexa en el Apéndice 6.

Tanto la facilidad como el precio al manejar pocos circuitos de control, fueron parámetros que se utilizaron para elegir que la región de memoria donde se ubica la memoria RAM fuera de la dirección 2000h a la 2800h. La configuración de los circuitos de control para la decodificación de las direcciones se cita en otra sección.

El mapa de memoria aparece a continuación desglosado por regiones específicas de ROM y RAM.

La tabla presenta la dirección inicial del segmento descrito, el fin del segmento corresponde a la dirección anterior a la citada en el siguiente segmento.

TABLA 6. DIRECCIONES RELEVANTES DEL MAPA DE MEMORIA.

- 0000h - ROM - Inicio del programa, asignación de memoria para STACK y retraso de tiempo para estabilización. Brinco a la dirección 0200h.
- 0038h - ROM - Rutina de Interrupción del reloj. Subrutinas de manejo de tiempo y temporizadores.
- 0200h - ROM - Sección de asignaciones e inicializaciones, programación de los canales del CTC.
- 02xxh - ROM - Sección de autopruebas.
- 03xxh - ROM - Programa Principal
- 03xxh - ROM - Rutinas de despliegue
- 04xxh - ROM - Rutinas de Teclado y Programación.
- 06xxh - ROM - Rutinas de Decodificación, Binario a BCD, BCD a siete segmentos, manejo de signo, selección tratamiento del tipo de dato, manejo de información de los bloques de LED's.
- 09xxh - ROM - Conversión Analógico Digital, y compensaciones.
- 0Axxh - ROM - Rutina de control, de la salida y alarmas.
- 0Cxxh - ROM - Rutina de salida.
- 0Dxxh - ROM - Rutinas auxiliares. Multiplicaciones, divisiones y multiplicaciones fraccionarias. Reseteo del Watcdog, y asignación de máximos y mínimos.
- 0Exxh - ROM - Tablas de letreros, tabla del código de segmentos, tabla de conversión Bin-BCD, Tabla de límites de las variables.
- 0FFfh - ROM - Fin de la memoria ROM
- 1000h - RAM - Inicio del primer bloque de variables.
- 1148h - RAM - Inicio del segundo bloque de variables (RESPALDO).
- 1300h - RAM - Sección de banderas de estados.
- 1400h - RAM - Sección de registros de despliegue y control.
- 1500h - RAM - Sección de registros de manejo de tiempo.
- 1600h - RAM - Parte superior del STACK
- 17FFh - RAM - Parte inferior del STACK (dirección inicial), fin de la memoria RAM.
- 1800h - RAM - Inicio de sección restringida (2Kb eco de memoria RAM).
- 2000h - ND - Inicia sección no decodificada. es posible hacer uso posteriormente de esta región mediante circuitos de decodificación.
-

3.6.2.2 Dispositivos Periféricos.

Los dispositivos periféricos que se utilizaron en la implementación del controlador fueron seleccionados a partir del interés en poder reemplazar en fases posteriores del proyecto, la tarjeta principal por otra con un microcontrolador que incluyera todos los periféricos en un sólo integrado y no fuera necesario el uso de los dispositivos discretos. Por tal motivo, tanto las direcciones de los periféricos como los dispositivos seleccionados son insustituibles. Sin embargo, la ampliación de estos es posible debido a que el microprocesador permite expansiones más allá de sus dispositivos internos.

Los requisitos iniciales para los dispositivos externos son los siguientes:

- Un CTC o controlador de contadores y temporizadores con cuatro canales;
 - Uno como temporizador y que sirva como contador de pulsos para activar la secuencia del reloj. Este será el único canal que puede interrumpir.
 - Dos como contadores conectados en cascada de tal modo que se tienen dieciséis bits en el contador que se usará para la conversión analógico/digital de la temperatura medida por el termopar.
 - Uno como contador que se usará opcionalmente para la conversión analógico/digital de la temperatura ambiente.
- Ocho bits de entrada que permitan leer el teclado.
- Ocho bits de salida que correspondan a los siete segmentos de cada uno de los dígitos del display y al punto.
- Siete bits de salida que corresponden a cada uno de los cinco dígitos del display y a los dos bloques de LED's indicadores de estados.
- Seis bits de salida que corresponden a las señales de control externo al controlador, es decir:
 - Un bit que resetea al watchdog constantemente
 - Dos bits que disparan la conversión analógico digital tanto de la temperatura ambiente como de la lectura del termopar.
 - Tres bits de salida a relevadores: Salida de control y dos alarmas.
- Ocho bits de salida que proporcionen un valor en binario proporcional a la salida de tal modo que este pueda ser usado por un convertidor digital/analógico y así tener una salida del controlador en voltaje, con la que se pueda realizar control.

Conjuntando los datos anteriores observamos que es necesaria la existencia de cinco puertos paralelos, uno de los cuales queda como entrada y el resto como salidas, además del Z80 CTC.

Para simplificar la implementación del circuito discreto, se decidió utilizar para los puertos I/O, circuitos MSLI de la familia TTL-LS. Específicamente, para los

puertos de salida el 74LS273 y para la entrada un 74LS245. Los específicos de estos circuitos, así como del Z80CTC están citados en el Apéndice 6.

Las direcciones en las que se eligió poner tales puertos coinciden exactamente con las del microcontrolador que sustituirá posteriormente a la tarjeta principal. Es importante aclarar que en el microcontrolador los puertos se programan bit por bit como entradas o salidas en una dirección que también aparece en el mapa de periféricos pero que, en el prototipo no están implementadas.

TABLA 7.- Mapa de los Periféricos.

- 10h Canal 0 del CTC Contador de Pulsos (temp. Ambiente)
- 11h Canal 1 del CTC Usado Como Temporizador, Reloj del Sistema
- 12h Canal 2 del CTC Contador de Pulsos (temp. Parte Baja)
- 13h Canal 3 del CTC Contador de Pulsos (temp. Parte Alta)
- 30h Reservado Para la Salida Analógica. Proporcional al Control Pero En Voltaje. (conv. D/A). En el Software Este Puerto Se Designa Como "CONVDAS"
- 40h Input, Lectura del Teclado. (activa en Bajos). En el software Este Puerto se Designa Como "TECLADO"
- 50h Output, Salida de Control, en el Software Este Puerto se Designa Como "RELAYS".
- 51h Output, Designación de Leds y Segmentos Encendidos. En el Software Este Puerto se Designa Como "SEGMENTS".
- 52h Output, Designación del Dígito Que Debe Desplegar El Dato Válido En Segments. En el Software Este Puerto se Designa Como "DIGITS".
- 34h Registro de Programación del Puerto de Salida Analógica. 30h, En el Prototipo de Circuitos Integrados Discretos no Existe ya que usa un Latch Tipo TTL.
- 44h Registro de Programación del Puerto de Entrada del Teclado 40h. En el Prototipo de Circuitos Integrados Discretos no Existe ya que usa un Buffer TTL.
- 54h Registro de Programación del Puerto "RELAYS" 50h, en el Prototipo de Circuitos Integrados Discretos no Existe ya que Usa un Latch Tipo TTL.
- 55h Registro de Programación del Puerto "SEGMENTS" 51h, en el Prototipo de Circuitos Integrados Discretos no Existe ya que Usa un Latch Tipo TTL.
- 56h Registro de Programación del Puerto "DIGITS" 52h, en el Prototipo de Circuitos Integrados Discretos no Existe ya Que Usa un Latch Tipo TTL.

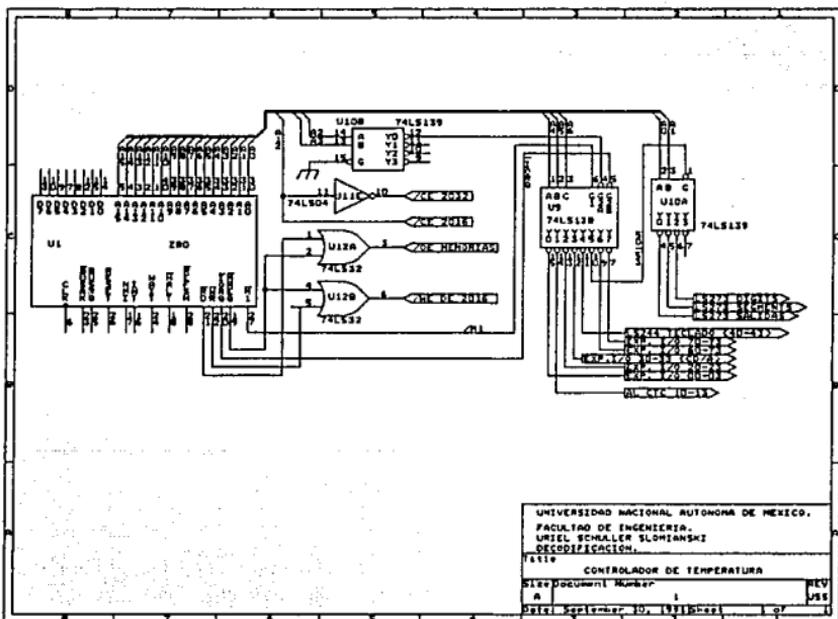
3.6.2.3 Decodificación.

Para implementar la decodificación de las direcciones, tanto de acceso a memoria como a periféricos, se considerará como filosofía principal el uso de pocos elementos para reducir posibilidades de error, espacio, y por supuesto precio.

Por este motivo, se consideró que la aparición de "eco" en regiones de memoria no utilizadas o en direcciones de periféricos no accedidos, no tenía mucha importancia.

La decodificación de las direcciones se logra con circuitos de la familia TTL-LS y la combinación de algunas señales de control y varios bits del bus de direcciones.

La figura 7 muestra el diagrama esquemático parcial en el que aparece la lógica utilizada en la construcción de la arquitectura.



Es importante hacer notar que la señal /M1 del microprocesador se incluye para asegurar que durante la interrupción del reloj no se realicen accesos a memoria o periféricos erróneamente. Se recuerda que el reconocimiento de la interrupción por parte del microprocesador se realiza durante un ciclo de fetch especial, en el que se substituye la activación de la señal /MREQ por una de /IORQ permitiendo así que el periférico ponga su vector de interrupción en el bus de datos.

Aunque el modo 2 de interrupciones no se utiliza en la implementación, es necesario incluir /M1 en la decodificación porque de no ser así, cuando las interrupciones ocurren, en el ciclo de fetch se presentan señales no deseables.

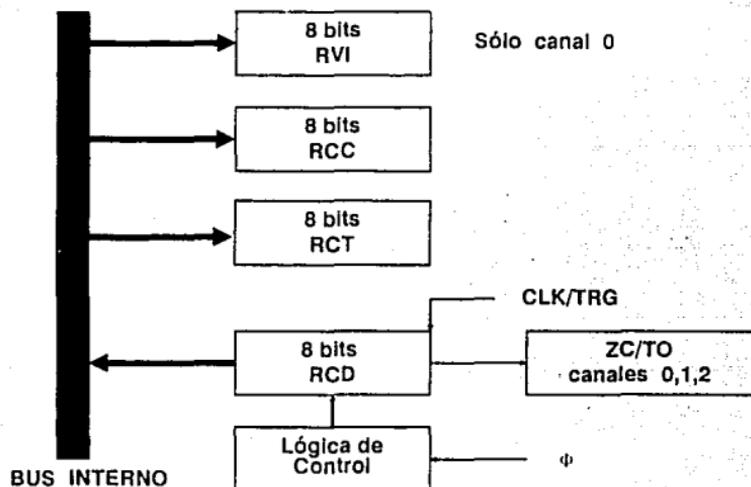


Figura 8.

3.6.3 El Circuito Temporizador y de Reloj

El Z80 Clock Timer Circuit (CTC), es un dispositivo programable que contiene cuatro canales lógicos de programación. Cada uno de los cuales se programa en forma independiente como un temporizador; es decir, contador de intervalos de tiempo, o como un contador de eventos externos.

El Z80 CTC, es un circuito integrado de 28 pines; todos los pines son TTL compatibles.

La organización funcional de cada canal del CTC, puede ser visualizada en el diagrama de la figura 8. Consiste en tres registros de ocho bits cada uno y dos señales de control.

Una constante de tiempo o de conteo es inicialmente cargada en el Registro de Constante de Tiempo (RCT) y este valor se mantendrá constante a menos que sea modificado por el usuario. La Constante Inicial de Tiempo (CIT) es cargada dentro del Registro de Conteo Decreciente (RCD) al principio de cada operación de tiempo; el contenido del RCD es decrementado. Es posible cada vez que el usuario lo desee, leer el contenido de este registro para determinar como ha progresado el conteo.

El Registro del Control de Canal (RCC), contiene un código de control que define las opciones de programación. Existen cuatro RCC's, uno por canal, por lo que la independencia entre canales es absoluta.

Existe un Registro del Vector de Interrupción (RVI) que es accedido como si fuera parte del Canal 0. Este registro contiene la dirección que será transmitida por el Z80 CTC cuando se reciba una señal de reconocimiento de interrupción. El Z80 CTC asume que el Z80 CPU está trabajando en el modo 2 de interrupción.

Señales y Pines Del Z80 CTC.

La figura 9, muestra los diferentes pines del Z80 CTC y su descripción se presenta a continuación:

- ϕ .-El reloj del sistema.
- D0-D7 (BUS DE DATOS BIDIRECCIONAL).- Transfiere en forma paralela la información entre el CPU y cualquier registro del CTC.
- /CE (CHIP ENABLE).- Activa en bajos, esta señal selecciona al circuito integrado.
- CS0 y CS1.- Mientras que /CE se encuentra activa estas dos señales se utilizan para seleccionar el canal lógico al cual se quiere leer o escribir.
- /M1.- Ciclo de máquina. Activo en bajos, esta señal proviene directamente del CPU y se utiliza para entrar al CTC que el CPU ha reconocido una interrupción; esto sucede cuando esta señal sucede al mismo tiempo
- IEI.- Entrada habilitadora de interrupción. Un High indica que ninguna otra interrupción de un dispositivo de prioridad superior está siendo atendida.
- IEO.- (Open drain activa en bajos) Salida habilitadora de interrupción. se pone en alto siempre que IEI esté en alto y el Z80CPU no atiende la interrupción de otro canal del CTC.
- /IORQ (INPUT OUTPUT REQUEST).-Petición de E/S.Activa en bajo, Cuando se encuentran presentes al mismo tiempo las señales /IORQ, /CE, y /RD, transfiere el dato del registro contador del canal leído al bus de datos del CPU. Si /RD está inactiva, corresponde a un ciclo de escritura por lo que recibe el dato del bus para identificarlo y cargarlo en el registro adecuado de ese canal. Si esta señal está activa

al mismo tiempo que /M1, el Z80CPU está reconociendo una interrupción por lo que el CTC pone en el bus de datos el vector de interrupción.

- /INT (INTERRUPCION).- Es una salida activa en bajo, open drain, que avisa al CPU que el CTC ha terminado una labor de conteo por lo que la subrutina adecuada debe ser ejecutada.
- /RD. (READ)- Activa en bajo, cuando está activa indica que el microprocesador está leyendo el bus.
- ZC/TO0..ZC/TO2.- Contador en cero o temporizador timeout. Esta señal indica que el contador o el temporizador a completado el ciclo al llegar a cero.
- CLK/TRG0..CLK/TRG3.- Relojes externos o señal de disparo del temporizador. (pueden ser activos en al frente de onda positivo o negativo, en modo contador cada estado activo de este pin decrementa el contador en uno. En modo temporizador, un estado activo de este pin comienza el conteo de tiempo).

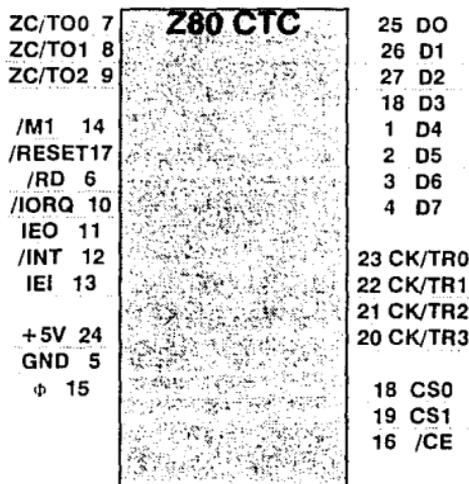


Figura 9.

3.6.4 El Display y el Teclado. (La Tarjeta Frontal)

La tarjeta del frente del controlador es el medio por el cual el usuario se comunica con el microprocesador y este con el primero.

La tarjeta está diseñada de tal modo que permita expansiones tanto del hardware como del firmware. De hecho, para la presente aplicación, sólo se utiliza parte de sus facilidades.

El circuito impreso es una tarjeta de 85mm de ancho por 130mm de alto, con agujeros para ser instalada al frente de un chasis que cumpla con los estándares industriales DIN.

En la parte inferior, la tarjeta tiene dos renglones de cuatro botones que funcionan como teclado. Mediante su manipulación, es posible alterar y consultar los valores parámetros importantes del proceso.

En el prototipo, se utilizan los ocho botones, pudiendo tener cada uno de ellos más de una función dependiendo del modo en el que esté el controlador.

Se ha denominado a cada uno de los botones como lo indica la tabla 8 según sus funciones.

NOTA: Para entender la numeración de los botones, considérese el primero como el superior de extrema derecha, 2,3 y 4 los siguientes del renglón superior. El 5o. botón es el inferior de la extrema izquierda, 6,7 y 8 los siguientes del renglón inferior.

TABLA 8. Denominación y Uso de Cada Tecla.

- 1 - GRAB - Grabación de dato, reinicio de valor máximo y mínimo.
- 2 - TEMPAMB - Indicador momentáneo de temperatura ambiente, (no activo)
- 3 -ERROR - Indicador momentáneo del error (Setpoint - VP).
- 4 y 5 - SETUP Y SETDOWN- Cambiadores de variable, asciende o desciende en la secuencia de variables modificables.
- 6 y 7 - VAL ASC. Y VAL DEC- Cambio del valor de la variable, asciende o desciende el valor de la variable visualizada. Visualización momentánea de los valores máximos y mínimos.
- 8 - MODO - Cambia de modo corrida a modo prog o viceversa.

La función que realiza cada botón está especificada más adelante cuando se considera el diseño del firmware. También es posible comprender la lógica del teclado consultando el "Manual del Usuario" que aparece en el Apéndice 3.

Despliegue de Información.

En la parte superior de la tarjeta frontal, el display presenta al usuario los datos necesarios para conocer el estado del proceso.

El display está formado por cuatro dígitos y medio con signo, y dos bloques de LED's que nos indican cual es la variable que se está visualizando y el estado actual de las salidas.

El manejo del punto decimal está definido desde el firmware es posible modificar su posición modificando la variable (POSPUNT).

El primer bloque de LED's se ubica, parte al extremo izquierdo del display y parte en la sección superior de los dígitos. Este bloque sirve para indicar los siguientes datos:

- LA SALIDA DE CONTROL.- (AMARILLO) se enciende a la par que la salida de control, para indicar su actividad.
- LAS ALARMAS.- (ROJOS) tres LEDS se encenderán independientemente si las alarmas están activas. Los primeros dos señalan la alarma 1 en sus dos posibles setpoints (superior e inferior) y el tercero es el indicador de la alarma 2.
- MODO ACTUAL (CORRIDA/PROG).- (VERDE y ROJO) estos dos LEDS son durante el loop de control mutuamente excluyentes, es decir, a excepción del tiempo de la prueba de display, nunca podrán estar encendidos al mismo tiempo. El verde indica que el controlador se encuentra en modo CORRIDA por lo que está ejecutando sus rutinas de control con las variables predefinidas. El rojo indica que se ha presionado el teclado pasando al modo PROG, permitiendo modificar las variables de control.

Es importante mencionar que durante el modo PROG, las variables se modifican en forma independiente al control mismo; es decir, sólo cuando se pasa de regreso al modo CORRIDA se modifican los parámetros. Por este motivo es posible mantener el equipo controlando aún durante la programación.

El segundo bloque de LED's se ubica, por debajo de los dígitos. Este bloque tiene todos los LED's verdes y sirve para indicar lo que se está visualizando del siguiente modo:

- 1.-SETPOINT.
- 2.-Variables dependientes del SETPOINT1 de la ALARMA1.
- 3.-Variables dependientes del SETPOINT2 de la ALARMA1.
- 4.-Variables dependientes del SETPOINT de la ALARMA1.
- 5.-Constantes de control.
- 6.-Constante de BURNOUT.
- 7.-Valor mínimo de la VP.
- 8.-Valor máximo de la VP.
- 1 y 7.-Error (Setpoint - VP).
- 1 y 8.-Temperatura Ambiente.

A uno de los costados y por la parte posterior, la tarjeta tiene un slot de cuarenta pines para conectarla con la tarjeta principal de forma firme y segura, reduciendo la posibilidad de ruido.

Las señales que llegan y salen de la tarjeta a través del slot se listan en la tabla 9.

TABLA 9. SEÑALES QUE ENTRAN Y SALEN DE LA TARJETA FRONTAL.

LADO DE COMPONENTES (PINES INTERIORES)	LADO DE SOLDADURA (PINES EXTERIORES)
1.- Vcc	Vcc
2.- GND	GND
3.- S7	S8
4.- S5	S6
5.- S3	S4
6.- S1	S2
7.- D2	D1
8.- D4	D3
9.- D6	D5
10.- D8 (NC)	D7
11.- B2	B1
12.- B4	B3
13.- B6	B5
14.- B8	B7
15.- NC	NC
16.- Vcc	Vcc
17.- GND	GND
18.- NC	NC
19.- NC	NC
20.- NC	NC

Donde las letras S representan los segmentos de cada dígito de modo que el segmento "a" está conectado a S1 y el segmento "f" a la señal S7, el punto decimal es S8.

Las letras D representan los dígitos, donde D1 es el dígito menos significativo, y D5 es el medio dígito, D6 enciende el bloque de LED's verticales o de salida y D7 los horizontales o de despliegue. B representa cada uno de los botones del teclado según lo establecido en la nota anterior.

Desde el punto de vista electrónico, disponemos únicamente de dos puertos para el manejo de de todos los dígitos, segmentos y bloques de LED's.

El primer puerto está localizado en la dirección 51h del mapa de periféricos y se le denomina SEGMENTS. El dato binario que se envíe a este puerto (activo en altos) será visualizado directamente sobre los segmentos de los dígitos y sobre cada uno de los LED's de los dos bloques.

El segundo puerto está localizado en la dirección 52h del mapa de periféricos y se denomina DIGITS. El dato binario que se envíe a este puerto (activo en bajos) será el indicador del dígito o bloque de memoria que deberá mostrar la información actualmente activa en el puerto SEGMENTS. Es decir, la información de los segmentos y LED's que se deben encender, se multiplexa entre los dígitos y bloques de LED's.

El orden en el que se presentan cada uno de los segmentos o LED's en el puerto SEGMENTS aparece en la tabla 10.

TABLA 10

bit #	segmento	1/2 dígito	1er bloque	2do bloque
0	a			ALM1SP1
1	b	b	CONTROL	ALM1SP2
2	c	c	ALM1SP1	ALARMA2
3	d		ALM1SP2	CONSTANTES
4	e	-	ALARMA 2	KBURN
5	f		MODO PROG	VALMAX
6	g		MODO CORR	VALMIN
7	pto.dec.	pto.dec.	SETPOINT	

El orden en el que se presentan los dígitos y bloques en el puerto DIGITS es el siguiente:

- 0 dígito menos significativo o 1
- 1 dígito 2
- 2 dígito 3
- 3 dígito 4
- 4 medio dígito, más significativo o 5
- 5 bloque 1 de LED's o bloque de control
- 6 bloque 2 de LED's o bloque de visualización.
- 7 No se usa.

En la parte central de la tarjeta se ubican los componentes de polarización y drenaje de corriente. Se utiliza un circuito ULN2003A y un transistor BD135 para proporcionar la corriente necesaria para encender los leds; el circuito integrado realiza la labor con los segmentos "a" hasta "f" y el transistor con el punto decimal.

También se requieren siete transistores BD136 para drenar la corriente del pin COM en los dígitos y bloques de LED's.

Un diagrama mostrando el circuito de la tarjeta frontal se puede apreciar en el Apéndice 5.

3.6.5 El Watchdog.

El watchdog es un circuito de protección contra fallas de sistema. Sabiendo que el controlador estará trabajando en un entorno industrial donde es muy probable la existencia de ruidos; es necesaria la verificación permanente del sistema, para asegurar que en todo momento se ejecutan instrucciones en forma lógica secuencial.

En ocasiones, debido al ruido del entorno, el microprocesador puede "leer mal" una instrucción y acarrear esta lectura de instrucciones que no son realmente del programa firmware. Por ejemplo, si un byte es leído erróneamente e interpretado como un brinco a una zona de memoria donde no existe programa codificado, el controlador actuaría de modo no previsto hasta que sea reseteado el sistema; o bien, que por azar encuentre de nuevo una sección de código de máquina inteligible que regrese al controlador a un estado controlado. La posibilidad de que el segundo evento suceda es muy baja, de hecho, lo más usual es que se quede perdido el sistema hasta un nuevo reset.

El watchdog es un dispositivo sensor que verifica la secuencia lógica del programa, si este deja de tener congruencia, el circuito watchdog reseteará automáticamente al microprocesador.

El funcionamiento del watchdog es equivalente al de un temporizador reseteable. El programador del sistema introduce en algunos lugares estratégicos del firmware, el envío a un puerto de un bit que actuará como trigger del watchdog. Cada vez que el trigger se presenta, el watchdog comienza de nuevo su conteo. Si por algún motivo el trigger no se presenta el temporizador llegará a su fin y reseteará el sistema.

El temporizador está diseñado en forma analógica con dos comparadores y dispositivos pasivos. El primer comparador está configurado como un monoestable, así, sin importar la entrada que presente (el bit de trigger del puerto) este se mantendrá en alto sólo unos instantes (suficientes para descargar el capacitor de tiempo) cada vez que la entrada pase por un frente de onda positivo. El segundo comparador monitorea un voltaje de referencia contra el voltaje del capacitor de tiempo (que se carga a través de una resistencia en función de la constante de tiempo RC. Si el voltaje del capacitor de tiempo supera al de referencia, la salida del segundo comparador se irá a tierra por unos segundos, con lo que se reseteará el controlador ya que esta señal está conectada directamente al pin /RESET del Z80CPU.

3.6.6 La Fuente de Poder.

Desde que se definieron los componentes del controlador, se consideró que los voltajes que debe proporcionar la fuente de poder son +5V, +12V, y -12V, además, se prevé que en un futuro existirá la necesidad de incluir -5V para implementar la sección de comunicaciones seriales. La potencia que debe entregar es variable dependiente directamente de la cantidad de componentes que se integran al sistema, y por supuesto de su tipo. La fuente del prototipo se diseñó con un único transformador de varios secundarios que pueden entregar los voltajes deseados a diferentes potencias según los requisitos y siendo además lo suficientemente robusto como para resistir posibles expansiones. La fuente puede proporcionar hasta tres amperes, dos y medio de los cuales se canalizan por el secundario que proporciona 9Vpp y que alimenta el regulador de 5Vdc. La mayor parte de los componentes se polarizan a este voltaje. Los 500mA restantes se drenan por un segundo devanado con tap central que alimenta con +-15V al puente de diodos de las fuentes de +-12V.

La fuente de 5V requiere un driver de corriente ya que el regulador LM7805 es de 1A y no soporta una mayor. Se utiliza un circuito TIC251 para esto.

El diagrama de la fuente aparece en el Apéndice 5 mostrando todos los componentes que la forman y el Apéndice 6 incluye algunas especificaciones de estos, proporcionados por el fabricante.

3.6.7 La Sección de Salida.

El puerto RELAYS, es encendido y apagado dentro del loop de control por el programa, pero no tiene la potencia necesaria para manipular los relevadores. El controlador cuenta con tres relevadores para manejar los dispositivos externos, el primero es el del control, los otros dos corresponden a las alarmas o dispositivos de emergencia.

Cada canal de salida es manipulado con un transistor BD 135 para entregar la potencia que el puerto TTL no puede. Los transistores switchean la salida entre 0V y 12V para ambas posiciones del relevador.

La forma en la que está dispuesto cada canal de salida es semejante a la de la figura 11. El diodo en paralelo con la bobina del relevador ayuda a evitar el ruido y reduce riesgos por calentamiento..

Los relevadores son de dos posiciones, por lo que en forma externa se decide si los dispositivos se activan al encenderse la salida o lo hacen cuando esta no es activa. En la parte posterior del equipo, una Kulka permite conectar los dispositivos externos sin necesidad de soldar ya que los tornillos de esta, representan las diferentes terminales de los tres relevadores. La Kulka también incluye los contactos para enchufar a la línea y representa la punta fría del termopar.

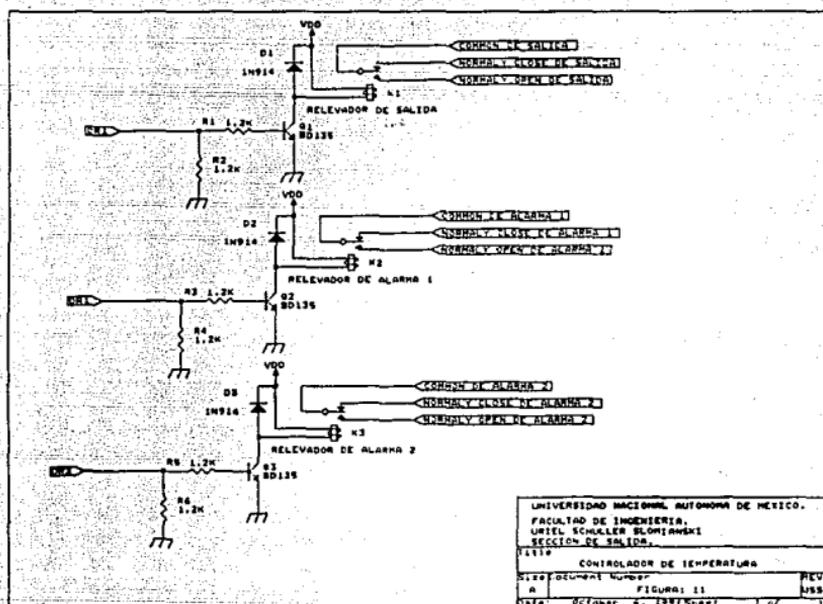


Figura 11.

3.7 Bibliografía.

- The TMPZ Microprocessors Family Data Book, Toshiba 1989. Usa
- The Z80-CPU Manual, Zilog 1977
- ZAKS, R. LESEA, A. Microprocessor Interfacing Techniques. 3ed. 1979 SYBEX.
- TEDESCHI, F. COHEN, R. 101 Projects for the Z80. 1a ed. TAB Booking 1983.
- BEITMAN, G. Material para el Curso de Microprocesadores. Dpto. Cómputo. ITAM 1985.
- SCHILLING, D. BELOVE, C. Electronic Circuits Discrete and Integrated. McGraw-Hill 1985 Singapore.
- BOYLESTAD, R. NASHELKSY, L. Electrónica, Teoría de Circuitos. Prentice Hall 1983 México.
- The Linear and Interface Integrated Circuits Data Book. MOTOROLA INC. 1985 USA.
- The TTL Logic, Standard TTL, Schottky, Low-Power Schotky Data Book. Texas Instruments 1988.
- The MOS Memory Data Book. Texas Instruments 1986.
- The Linear Circuits Data Book Vols I, II & III. Texas Instruments 1989.
- Osborne, A. Introducción a las Microcomputadoras Vol. I. Osborne McGraw-Hill, 1987 España.
- Linear Applications, National 1987 USA.

CAPITULO 4

PRINCIPIOS BASICOS DE CONTROL.

4.1 Introducción.

Un control automático compara el valor efectivo de salida de un determinado proceso (señal de entrada del controlador), con el valor deseado (SETPOINT), determina la desviación (ERROR) y produce una señal de control (SALIDA) que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. La forma en la que el control automático produce la señal de control recibe el nombre de acción de control.

En este capítulo se presentan las acciones de control básicas utilizadas comúnmente en los controles automáticos industriales. Primero se introduce el principio de operación en los controles automáticos y los diversos métodos de generación de las señales de control, como la derivada e integral de la señal de error. Luego se analizan los efectos de los distintos modos de control en el funcionamiento del sistema. Posteriormente, se definen los diferentes tipos de salida que un controlador automático industrial puede tener, y por último se explica el algoritmo que se utilizó en el sistema desarrollado para lograr que este tenga control proporcional.

En el presente capítulo se discuten los conceptos básicos del control y se profundiza en aquellos temas que se requirieron para el desarrollo del sistema y son necesarios para la comprensión del funcionamiento del mismo.

4.2 Clasificación de los Controles Automáticos.

De acuerdo con su acción de control se pueden clasificar los controles automáticos industriales en:

- a) Controles de dos posiciones o de sí-no (ON-OFF)
- b) Controles proporcionales.
- c) Controles integrales.
- d) Controles proporcionales e integrales.
- e) Controles proporcionales y derivados.
- f) Controles proporcionales y derivados e integrales.

La mayoría de los controles automáticos industriales usan como fuentes de potencia la electricidad o un fluido a presión que puede ser aceite o aire. De aquí, que

se puedan clasificar los controles automáticos según el tipo de energía usada en su funcionamiento en controles neumáticos, hidráulicos o electrónicos. La selección del tipo de control a usar depende de la naturaleza de la planta en la que se desarrolle el proceso y sus condiciones de funcionamiento, se consideran inclusive variables tales como seguridad, costo, disponibilidad confiabilidad, exactitud, peso y tamaño.

4.3 Elementos de Controles Automáticos Industriales.

Un control automático debe detectar la señal de error actuante que habitualmente se encuentra a un nivel de potencia muy bajo, y amplificarla a un nivel suficientemente alto como para poderlo procesar, por tanto, se requiere de un amplificador. La salida del control automático actúa sobre un dispositivo de potencia, como un motor neumático o válvula, un motor hidráulico o un motor eléctrico.

En la figura 12 aparece un diagrama de bloques de un control automático industrial y un elemento de medición. El control en sí consiste en un detector de error y un amplificador. El elemento de medición es algún dispositivo transductor que convierte la variable de salida en otra variable adecuada, como un desplazamiento, presión o señal eléctrica, que pueda usarse para comparar la salida con la señal de referencia. Este elemento se encuentra en el camino de realimentación del sistema de lazo cerrado. Hay que convertir el punto de ajuste o regulación del control a una referencia de entrada de las mismas unidades que la señal de realimentación del elemento de medición. El amplificador efectúa la amplificación de la potencia de la señal de error actuante, la que a su vez opera sobre el accionador (frecuentemente se usa un amplificador simultáneamente con algún circuito de realimentación adecuado para modificar la señal de error actuante amplificándola y a veces derivándola o integrándola para lograr una mejor señal de control). El accionador o efectores un

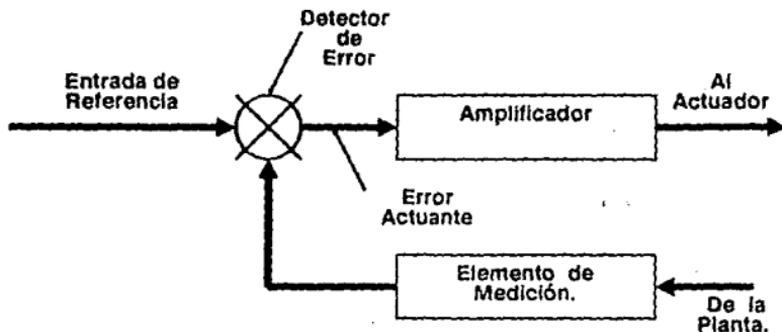


Figura 12.

elemento que altera la entrada a la planta de acuerdo con la señal de control, de manera que se pueda poner en correspondencia la señal de realimentación con la señal de referencia de entrada.

4.4 Controles Autoactuantes.

En la mayor parte de los controles automáticos industriales, se usan unidades independientes como elemento de medición y como dispositivo accionador. Sin embargo, en los muy simples, como en los controladores autoactuantes, y en los nuevos controladores microprocesados, ambas unidades están reunidas en una sola. Los controles autoactuantes utilizan potencia tomada del elemento de medición y son muy simples y económicos.

4.5 Acciones de Control.

En los controles automáticos industriales son muy comunes los seis tipos siguientes de acciones de control: Controles de dos posiciones o de sí-no (ON-OFF), controles proporcionales, controles integrales, controles proporcionales e integrales, controles proporcionales y derivados, controles proporcionales y derivados e integrales.

Es importante comprender las características básicas de cada una de estas acciones.

4.6 Acción de Dos Posiciones, de Sí-No o de ON-OFF.

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas, que en muchos casos son simplemente conectado y

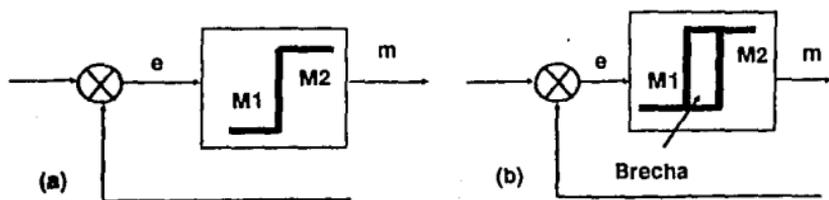


Figura 13.

desconectado, encendido y apagado, 100% y 0% etc. El control de sí-no es relativamente simple y económico, y por esta razón, ampliamente utilizado en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Sea la señal de salida del control $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$. En un control de dos posiciones, la señal $m(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según que la señal de error actuante sea positiva o negativa, de modo que

$$\begin{aligned} m(t) &= M1 \text{ para } e(t) > 0 \\ m(t) &= M2 \text{ para } e(t) < 0 \end{aligned}$$

donde $M1$ y $M2$ son constantes.

Generalmente el valor mínimo $M2$ es o bien cero ó $-M1$. Los controles de dos posiciones comúnmente son dispositivos eléctricos, donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico.

Las figuras 13 a y b, presenta diagramas de bloques de controles de dos posiciones. El rango en el que se debe desplazar la señal de error actuante antes de que se produzca la conmutación se llama brecha diferencial o histéresis. En la figura 13 b, se indica una brecha diferencial, cuya función es mantener la salida del control $m(t)$ en un su valor hasta que la señal de error actuante haya pasado levemente del valor cero. En algunos casos, la histéresis es resultado de fricción no intencional y movimiento perdido; sin embargo, es común incluirla deliberadamente para evitar la acción excesivamente frecuente del mecanismo actuador.

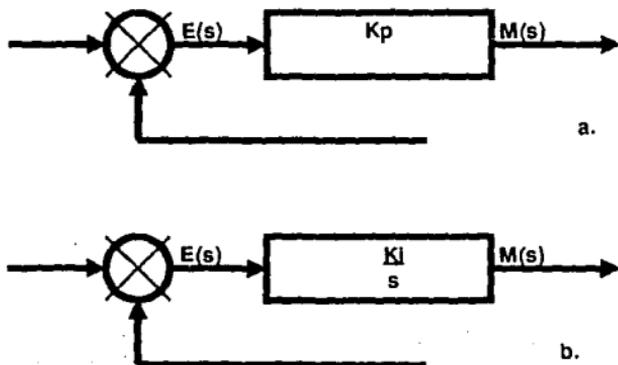


Figura 14.

Es importante remarcar que la curva de salida de este tipo de control, sigue siempre una de dos curvas exponenciales dentro del rango definido por la histéresis, una corresponde al momento de encendido y la otra al de apagado. Se puede reducir la magnitud de las oscilaciones disminuyendo la amplitud de la brecha diferencial, pero esto incrementa la cantidad de conmutaciones por minuto y reduce considerablemente la vida útil del componente. Es conveniente determinar el valor de la histéresis por consideraciones de exactitud deseada y duración de los componentes.

4.7 Acción de Control Proporcional.

Para un control de acción proporcional, la relación entre la salida del controlador $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$ es:

$$m(t) = K_p e(t)$$

o, en magnitudes de transformadas de Laplace:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p$$

donde K_p se denomina sensibilidad proporcional o ganancia.

La ganancia es la razón de cambio (en por ciento) de la señal de salida y la variable medida.

Cualquiera que sea el mecanismo en sí, y sea cual fuere la potencia que lo alimenta, el control proporcional es un amplificador con ganancia ajustable. En la figura 14 a, se puede ver un diagrama de bloques de este control.

En términos industriales, la banda proporcional es el valor porcentual del rango total mensurable, dentro del cual un controlador proporcional produce un cambio equivalente al 100% en su salida. Es decir, la banda proporcional nos indica la sección del rango de medición dentro de la cual, el actuador funcionará en forma proporcional a la señal de error, más allá de los límites establecidos por esta banda, el efector se mantendrá siempre encendido o apagado.

$$G = \frac{100\%}{BP}$$

donde BP es la banda proporcional.

Si la banda proporcional es de 20% entonces la ganancia es de 5, y con esto, un cambio del 3% en la señal de error redundará en un cambio del 15% en la salida del controlador. Mientras mayor sea el error, mayor será la acción de control. Mientras mayor sea la ganancia proporcional, más pequeña es la banda proporcional. Una banda proporcional de 0% implica que el control actúe como de dos posiciones.

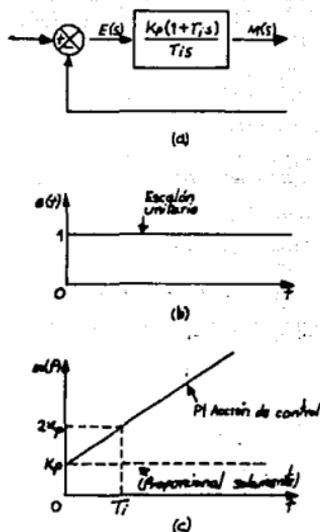


Figura 15.

4.8 Acción de Control Integral.

En controles con este tipo de acción, la salida del controlador $m(t)$ varía en proporcional error actuante $e(t)$:

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t)$$

o de otro modo:

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

K_i es una constante regulable. La función de transferencia del control integral es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $m(t)$ varía dos veces más rápido. Para un valor de error actuante igual a cero, el valor de $m(t)$ se mantiene estacionario.

La acción de control integral recibe también el nombre de control de reposición. La figura 14b muestra un diagrama de bloques de este control.

4.9 Acción de Control Proporcional e Integral.

La acción de control proporcional e integral queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p \int_0^t e(t) dt$$

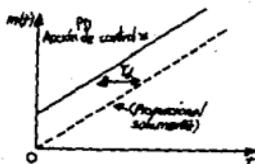
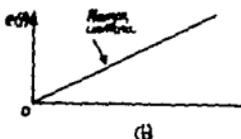
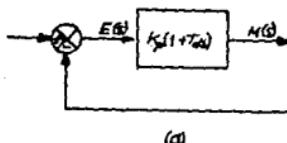


Figura 16.

o la función transferencia del control es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional o ganancia y T_i el tiempo integral. Tanto K_p como T_i son regulables; este último, al variar altera únicamente la acción de control integral mientras que K_p afecta tanto a la parte integral como a la proporcional de la acción de control. A la inversa de T_i se le conoce como frecuencia de reposición y es el número de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. En la figura 15a se puede observar un diagrama de bloques de un control proporcional e integral. Si el error actuante $e(t)$ es una función escalón unitario como la que aparece en la figura 15b, la salida $m(t)$ será equivalente a la que se indica en la figura 15c.

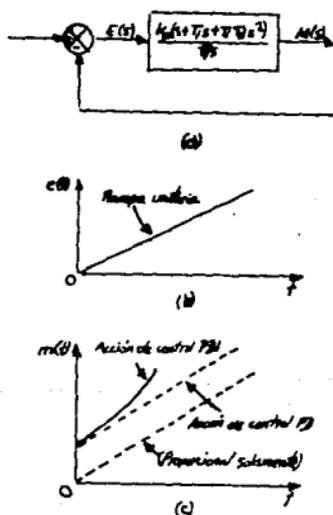


Figura 17.

4.10 Acción de Control Proporcional y Derivativa.

La acción de control proporcional y derivativa, queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{dc(t)}{dt}$$

y la función transferencia es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional y T_d es el tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son regulables. La acción de control derivativa a veces denominada control de velocidad se logra cuando el valor de salida del control es proporcional a la variación de velocidad de la señal de error actuante. El tiempo derivativo T_d es el intervalo de tiempo en el que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional. La figura 16a representa un diagrama de bloques de un control proporcional y derivativo. Si la señal de error actuante $e(t)$ es una función rampa unitaria como la que aparece en la figura 16b, la salida del control $m(t)$ es la que aparece en la figura 16c. Como puede verse, la acción de control derivativo tiene carácter de anticipación; Sin embargo, nunca puede anticiparse a una acción que aún no ha tenido lugar.

Mientras la acción de control derivativa tiene la ventaja de ser anticipadora, tiene las desventajas de amplificar las señales de ruido, pudiendo producir efectos de saturación en el accionador.

Hay que notar que no se puede tener una acción de control derivativa sola, porque este control es efectivo únicamente durante períodos transitorios.

4.11 Acción de Control Proporcional Integral y Derivativa.

La combinación de los efectos de las acciones de control proporcional, control derivativo y control integral, se llama acción de control proporcional integral derivativa. Esta acción combinada reúne las ventajas de las tres acciones de control individuales. La ecuación de una acción de control de este tipo está dada por:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{dc(t)}{dt} + K_p \int_0^t e(t) dt$$

y su función de transferencia es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional, T_d es el tiempo derivativo y T_i el tiempo integral. Tanto K_p como T_d y T_i son regulables. La figura 17a representa un

diagrama de bloques de un control proporcional integral y derivativo. Si la señal de error actuante $e(t)$ es una función rampa unitaria como la que aparece en la figura 17b, la salida del control $m(t)$ es la que puede verse en la figura 17c.

4.12 Efectos del Elemento de Medición en el Comportamiento del Sistema.

Como las características dinámicas y estáticas del elemento de medición afectan la indicación del valor efectivo de la variable de salida, el elemento de medición juega un papel importante en el comportamiento global del sistema de control. Este, generalmente determina la función de transferencia en el camino de realimentación. Si las constantes de tiempo del elemento de medición son despreciablemente pequeñas en comparación con otras constantes de tiempo del sistema de control; la función transferencia del elemento de medición simplemente se convierte en una constante.

La respuesta de un elemento de medición térmico, frecuentemente es del tipo sobreamortiguado de segundo orden. La determinación de las características de las respuestas de los elementos de medición por lo general involucran variables tales como dimensiones del transductor, material del que está hecho, forma, etcétera. Para los fines de esta tesis, se considera que la respuesta del elemento sensor es una constante.

4.13 El Control Digital.

Con el advenimiento de la era digital en la electrónica, en los últimos años se han generado muchos cambios dentro de los conceptos generales del control, en la sección 4.3 se mencionó que un control automático en sí, consiste en un detector de error y un amplificador. El elemento de medición es algún dispositivo transductor que convierte la variable de salida en otra variable adecuada y en las mismas unidades que la señal de salida, para compararla con la señal de referencia. En el control digital, la señal de referencia no existe realmente, la comparación se realiza en forma lógica con el auxilio de un microprocesador, para lograr esto, la señal generada por el transductor es convertida a un código igual al de referencia (por lo general valores binarios o en código BDC). La ventaja principal del control digital sobre el convencional, es su flexibilidad, pero tiene la limitación intrínseca de no poder proporcionar una señal continua a la salida del controlador para manejar el actuador, el escalonamiento producido por la conversión del código digital a una señal analógica (C D/A) es la causa de la falta de precisión en los niveles de salida, esto se puede mejorar aumentando la cantidad de bits de resolución, pero decrementa los beneficios de costo y velocidad.

Con el incremento en la velocidad de proceso de los nuevos microprocesadores, esta limitante será cada vez menor y el costo de producir controladores digitales será semejante al de los analógicos.

Los nuevos controladores digitales comerciales, manejan una nomenclatura un poco diferente a la del control convencional, por este motivo, se listan a continuación los diferentes tipos de acciones de control desde el punto de vista del control digital.

4.14 Los Algoritmos de Control Digital.

Lo que en control clásico se conoce como acción de control, se denomina en control digital el Algoritmo de control; esto se debe a que desde el punto de vista físico, estos últimos no realizan ninguna acción mecánica sino que siguen una secuencia lógica previamente programada.

Los algoritmos de control más comunes son:

- a) ON/OFF.- Es el más sencillo y es equivalente a la acción del mismo nombre. En este algoritmo, la variable del proceso VP es comparada con el SETPOINT para determinar el error. Este algoritmo sólo utiliza el signo del error para operar. En una acción de control directa, con errores positivos la salida se enciende y con errores negativos la salida se apaga. Si la acción de control es inversa, lo contrario es verdadero. La programación de histéresis es permitida para reducir el desgaste del actuador.
- b) DUPLEX ON/OFF.- Es una extensión del control on-off donde la salida permite controlar dos relevadores que están traslapados en su acción de tal modo que se pueden tener cuatro niveles de salida dependiendo la situación de estos en cada momento. Cuando el error es cero un relevador se mantiene encendido y el otro apagado de tal modo que la salida es del 50%.
- c) PID A.- Las siglas PID provienen de Proporcional Integral Derivativo, este algoritmo normalmente se usa para control de tres modos, es decir, la salida puede ser ajustada en alguna región entre el 0% y el 100% a partir de las tres acciones de control. La acción de control proporcional es la ganancia y regula la salida de control proporcionalmente al error (SETPOINT-VP). La acción de control integral o reset, regula la salida del controlador en proporción a la magnitud del error y al tiempo que este lleva existiendo, El monto total de esta acción correctiva depende también de la ganancia. La acción de control derivativa o de velocidad regula la salida del controlador en proporción a la razón de cambio del error, también depende de la ganancia.
- d) PID B.- A diferencia del PID-A, Este algoritmo de control proporciona sólo una respuesta integral al cambio sin ser afectado por la ganancia o la constante derivativa.

- e) **PD CON RESET MANUAL.**- Este algoritmo se usa cuando la acción integral es indeseable en el control automático. El control se realiza sin contribución integral, el reset manual, programable por el usuario, es incluido al valor presente de la salida para definir la salida del controlador. Programando el valor de la constante derivativa en cero, es posible tener un control únicamente proporcional con reset manual.
- f) **TRES POSICIONES.**- Este algoritmo es una extensión del on/off duplex, incluye retroalimentación interna del estado de los relevadores. El resultado de este algoritmo es que el tiempo de encendido y apagado del relevador de salida cambia en proporción a la señal de error, a la ganancia y al tiempo de reset.

4.15 La Salida del Control Digital.

Por la forma en la que proporciona la salida un controlador digital, estos se pueden clasificar como:

- a) **RELAY SIMPLEX.**- Este tipo de salida utiliza un relevador que se puede configurar física o lógicamente para actuar como normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC).
- b) **CURRENT SIMPLEX.**- Esta salida utiliza una señal de corriente que fluctúa entre los 2ma y los 20ma, esta puede ser drenada por impedancias de entre cero y 1000 ohms. La señal puede ser recalibrada para cualquier rango deseado entre el 0 y 100% de la escala de la variable.
- c) **POSITION PROPORTIONAL SIMPLEX.**- Tipo de salida que utiliza dos relevadores y un motor que puede variar su posición afectando con su movimiento un potenciómetro de entre 100 y 1000 ohms. Este algoritmo es común para el control de servomecanismos.
- d) **RELAY DUPLEX.**- Esta salida usa dos relevadores que pueden combinar su situación para proporcionar diferentes niveles de salida.
- e) **CURRENT DUPLEX.**- Es similar a la salida current simplex pero provee una segunda salida de corriente que usualmente está escalada 50% de la primera, de tal forma que cuando el valor de salida es de 0 a 50% la primera salida está activa y de 50 a 100% la segunda lo está.
- f) **CURRENT/RELAY DUPLEX (RELAY = HEAT).**- Es una variación de la current duplex en la que la salida de corriente es activa de 0 a 50% y un relevador actúa como salida de 50 a 100%.
- g) **CURRENT/RELAY DUPLEX (RELAY = COOL).**- Es una variación de la current duplex en la que la salida de corriente es activa de 50 a 100% y un relevador actúa como salida de 0 a 50%.

4.16 El Algoritmo de Control Proporcional del Sistema.

El sistema diseñado, incluye el algoritmo de control proporcional que a continuación se describe, cabe hacer notar que este tipo de control se puede programar para que funcione como algoritmo de control de dos posiciones.

El algoritmo permite ser programado desde el teclado del frente del dispositivo y modificar así los parámetros de control. Existen diferentes variables y constantes que el usuario no tiene acceso directo a ellas y que se definen como características del sistema, algunas de estas fueron programadas en el firmware y otras son las limitaciones físicas que el dispositivo posee. La definición de estas variables y constantes, así como los parámetros programables es indispensable para poder calificar el funcionamiento de cualquier controlador:

- **Setpoint.**- Es un parámetro programable; es el valor ideal al que se quiere tener la variable del proceso, su rango de trabajo está limitado por razones físicas entre los puntos donde el sensor puede leer sin distorsión o daño. Para el caso del sistema diseñado, el rango programable es de -10°C a 1100°C . (1110°C) pero por razones descritas en el segundo capítulo, el límite superior real del termopar tipo "J" es de 760°C . Modificando el tipo de termopar este límite puede variarse.
- **Constante Proporcional, o Banda Proporcional.**- Es un parámetro programable que define el porcentaje del rango de la variable de proceso dentro del cual se controlará en forma proporcional. La banda proporcional ubica siempre al SETPOINT a la mitad. De este modo, hablar de una banda proporcional de 10% implica que esta se ubica 5% por arriba del setpoint y 5% por abajo. Para el caso del sistema diseñado, el 100% equivale a 1110°C definido por los límites superior e inferior de la VP.
- **Constante de Tiempo.**- Es un parámetro programable por el usuario y define el tiempo total (en segundos) que durará el ciclo de trabajo. El rango dentro del que se puede programar este parámetro es un punto muy importante para tomar una decisión sobre la calidad de un controlador. Mientras más amplio sea, empezando desde lo más pequeño posible, mejor será el control. También es importante la precisión de este dato, mientras más pequeña sea la unidad de medición más cortos serán los diferenciales de tiempo en el control por lo que habrá un mayor acercamiento al dato deseado. La constante de tiempo es un parámetro artificial dentro del control digital, este se fundamenta en la cuantización de la salida, como esta es a través de un relevador, es necesario cambiar la relación entre tiempo encendido y tiempo apagado y lograr así, equilibrar la potencia proporcionada en forma similar a una salida analógica. En el sistema diseñado, la constante de tiempo se puede programar dentro de un rango de un segundo hasta 180 segundos.
- **Tiempo Mínimo de Respuesta.**- Es el valor mínimo al que se puede programar la salida para mantener al relevador en una sola posición. Esta es una constante no definible por el usuario y que puede estar limitada por las características físicas del actuador o mediante el firmware al proteger este por desgaste. Normalmente un

tiempo mínimo de 100ms es bueno, pero cuanto menor sea, sin afectar la vida útil del actuador, mejor. En el sistema diseñado, el tiempo mínimo de respuesta está limitado por firmware a 10mS para proteger al relevador de salida.

- **Ganancia.**- Es un valor no definible directamente por el usuario, sino que es resultado de la programación del ancho de la banda proporcional. Como se mencionó anteriormente, su valor se encuentra al dividir el rango total de la variable del proceso, entre el ancho de la banda proporcional, la división entre porcentajes también es válida.

$$G = \frac{100\%}{BP}$$

por ejemplo, si la BP es de 20%, entonces la ganancia es de 5.

Según la información anterior, el ciclo de control es equivalente a la constante de tiempo. Como el control es digital, el ciclo está dividido en un número finito de lapsos de tiempo, equivalente cada uno de ellos al tiempo mínimo de respuesta. La función del algoritmo de control es la de definir cuantos lapsos de tiempo deberá estar el relevador de salida en la posición de encendido, y por complemento el tiempo que deberá permanecer apagado.

Para poder establecer la ecuación del algoritmo, se definen a continuación las siguientes variables algebraicas:

- **KT** = Constante de Tiempo.
- **Te** = Tiempo de encendido del relevador de salida.
- **Ta** = Tiempo de apagado del relevador de salida.
- **SP** = SETPOINT del sistema.
- **VP** = Variable del Proceso.
- **R** = Rango permisible de VP (constante = 1110 °C).
- **BP** = Banda Proporcional definida por el usuario (en porciento).

Ahora, es posible establecer otras variables y constantes secundarias:

- **e** = SP - VP. Error Instantáneo.
- **GP** = R/100 = 1110°C/100 = 11.1°C. Grados equivalentes al 1% del rango.
- **GP2** = GP/2 = 5.55 °C.

Como el ciclo de tiempo es una variable programable por el usuario, pero fija durante todo el proceso, se puede considerar que el tiempo que el relevador permanecerá apagado es el complemento del tiempo de encendido; es decir:

- **Ta** = KT - Te

Es posible establecer el tiempo de encendido Te del siguiente modo:

$$Te = \frac{KT}{2} - \frac{KT \cdot e}{2GP2}$$

Se observa que si el error es nulo, el tiempo de encendido será la mitad del ciclo de tiempo por lo que la potencia entregada será del 50%.

Si el error es positivo, indica que la VP está por debajo del SP, por lo que se debe proporcionar más potencia, en cambio, si el error es negativo, el tiempo de encendido se reducirá ya que la VP es superior a SP.

El algoritmo de control proporcional solamente será válido mientras que el error se encuentre dentro de la banda proporcional, es decir:

mientras que

$$|e| < BP \times GP2$$

se usará el control proporcional, en cambio, si

$$|e| > BP \times GP2$$

el control será ON-OFF.

de aquí que al valor

$C1 = SP - BP \times GP2$ se le denomina punto de siempre encendido y coincide con el límite inferior de la banda proporcional. Y al valor

$C2 = SP + BP \times GP2$ se le denomina punto de siempre apagado y coincide con el límite superior de la banda proporcional.

Es importante hacer notar que si el usuario selecciona una banda proporcional de cero, SP coincidirá con C1 y C2 por lo que no existirá un control proporcional real, la ganancia será infinita y el control será únicamente ON-OFF.

Una selección de BP mayor dará por resultado una banda proporcional mayor, esto hace al sistema más estable, pero la respuesta será más lenta.

Un diagrama mostrando esquemáticamente estos conceptos puede observarse en la figura 18.

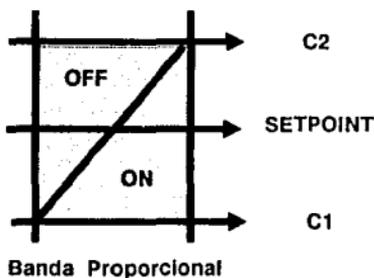


Figura 18.

4.17 Bibliografía.

- UDC 3000. Universal Digital Controller. Product Manual. Honeywell Proces Control Division Fort Washington, PA, II 1988.
- UDC 500. Universal Digital Controller. Advance Information. Honeywell Proces Control Division Fort Washington, PA, VIII 1983.
- CANALES, R. BARRERA, R. Análisis de Sistemas Dinámicos y CONTROL AUTOMÁTICO. México, LIMUSA 1a. Ed. 1977.
- KUO, C. B. Digital Control Systems. USA, 1 ed. HRW1980.
- OGATA, K. Ingeniería de Control Moderna. México Prentice-Hall 1982.
- BIBBERO, R. J. Microprocesors in Instruments and Control. USA John Wiley & Sons, 1977.
- DESHPANDE, P. BASH, R. H. Elements of Computer Process Control With Advanced Control Applications. USA, Instrument Society of America 1981.

CAPITULO 5.

DISEÑO DEL FIRMWARE.

5.1 Introducción.

Este capítulo contiene una descripción de las diferentes subrutinas que incluye el programa que gobierna al sistema desarrollado, cada una de las cuales se subdividen en varias secciones.

Inicialmente se presenta un resumen técnico de las actividades que realiza cada subrutina. En segundo término se pueden observar diagramas de flujo que muestran la secuencia que sigue cada sección del programa. En algunas ocasiones se presentan fragmentos del programa mismo en ensamblador para describir con mayor énfasis este tema.

Una lista de las variables utilizadas es incluida al final como referencia al firmware.

5.2 Secuencia del Programa del Controlador.

El programa que gobierna al controlador, fue diseñado en forma modular; de hecho, es posible entender su secuencia al observar el diagrama de flujo general que aparece en la figura 19. Está claro que prácticamente todos los bloques que aparecen en esa gráfica corresponden por sí mismos a una sección del programa que se discutirá en forma más explícita más adelante.

Para asegurar que el sistema, ya sea por ruido o por motivos no previstos, no se pierda dentro de la ejecución del programa, se intercalan entre algunas de las secciones del programa principal, llamados a la subrutina del WATCHDOG, Esta subrutina se explica más adelante en otra sección de este capítulo.

A continuación se presenta el listado de la sección del firmware que corresponde directamente al programa principal.

```

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;ESTA SECCION CORRESPONDE AL PROGRAMA PRINCIPAL, OBSERVESE ;;
;;LA ESTRUCTURACION DE ESTE EN SUBROUTINAS INDEPENDIENTES ;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
                .SUBTITLE "PROGRAMA PRINCIPAL"
CD EA 09 PROGRAMA: CALL INICONV ;INICIA LA CONVERSION A/D
CD 33 04          CALL DISUP   ;SUBROUTINA DE DESPLIEGUE
CD 83 0C          CALL WATCHA  ;RESETEO DEL WATCHDOG
CD 4A 07          CALL DECODIF  ;SUBROUTINA DE CONVERSIONES
CD CA 04          CALL LECTURA ;SUBRUT. LECTURA DE TECLADO
CD 4A 0A          CALL CONTROL  ;SUBROUTINA DE CONTROL
CD 33 04          CALL DISUP   ;SUBROUTINA DE DESPLIEGUE
CD E9 0A          CALL ALARMAS  ;SUBRUT. CHEQUEO DE ALARMAS
CD EB 0B          CALL SALIDA   ;SUBRUT. ACTUALIZA LA SALIDA
CD 33 04          CALL DISUP   ;SUBROUTINA DE DESPLIEGUE
CD 90 0C          CALL ASIGNVAL ;CARGA VALMAX Y MIN
CD 83 0C          CALL WATCHA  ;RESETEO DEL WATCHDOG
C3 0F 04          JP PROGRAMA  ;REPITE PROCESO ETERNAMENTE

```

Al encender o resetear el controlador, el registro PC del CPU contiene ceros. A partir de esta dirección de memoria, comienzan las inicializaciones de los diferentes registros de memoria que se utilizan dentro del ciclo. Esta inicialización incluye el cargar al SP del CPU con la dirección inicial del Stack. Posteriormente se realiza una subrutina de "retardo" que permite al circuito estabilizarse antes de correr el resto del programa. Una vez que el "retardo" termina, se limpian (llenan de ceros) los registros de tiempo, modo, display y algunas banderas.

Desde este momento se resetean los cuatro canales del CTC y se programa el que funcionará como temporizador -reloj del sistema-.

Una vez inicializadas las variables comienzan las diferentes autopuebas del sistema. La sección de autopuebas consiste en:

- Prueba de Display
- Prueba de RAM
- Prueba de Respaldo de Parámetros de Control
- Prueba de Congruencia de Datos entre sí.

Por último, antes de entrar al loop de control, se calculan algunas variables a partir de otras que se teclearon con anterioridad y que después de pasar las pruebas, se supone que están libres de error.

El programa principal es quizá por sí mismo la sección más pequeña del listado total. Consiste únicamente en llamadas a subrutinas en forma secuencial aparente y un brinco al inicio de sí mismo.

Se utiliza el término "secuencia aparente" para definir al programa principal, porque al observar únicamente el listado de esta sección, se intuye que siempre se realizan las mismas subrutinas en el mismo orden. Lo cierto es que en cada ciclo se hacen las llamadas a todas las subrutinas, pero algunas de ellas tienen "filtros" o "selectores" de ocasión, que definen si deberán o no seguir adelante con la subrutina o regresar la secuencia al programa principal. Estos filtros están basados principalmente en circunstancias de tiempos, del modo del display, o del modo de trabajo (CORRIDA o PROG). Por ejemplo, la subrutina de conversión A/D, requiere un tiempo mínimo para considerar que la lectura es confiable, por este motivo un "filtro de tiempo" permite únicamente realizar esta subrutina cada 30ms, es decir, aunque el programa principal haga llamados a la subrutina, no se realizará la lectura de la conversión a menos que el tiempo preprogramado de 30ms se haya cumplido desde la última lectura de la misma variable.

Una vez dentro del loop de control (después de las autopuebas), la secuencia se mantendrá normalmente a menos que alguna circunstancia especial altere las variables de tal modo que el proceso no pudiera continuar. En tales circunstancias, el programa se anidará dentro de un loop de mensaje de error, que desplegará en display el tipo del error detectado. Si el desperfecto puede ser corregido mediante la reprogramación (error lógico), al presionar cualquier tecla, el modo PROG se activará automáticamente para corregir y almacenar la información; si el desperfecto es consecuencia de algún problema físico del equipo (ruptura o corto circuito en el sensor, falla en la memoria RAM, descalibración que saque de rango la lectura, ruido extremo en la línea que cause errores en el algoritmo, etc.) el programa no podrá regresar a la secuencia normal a menos que se apague el controlador, y al volverse a encender ya no detecte la falla (sustitución o reparación de la parte).

Cada una de las subrutinas que el programa del controlador llama, son explicadas en las siguientes secciones del capítulo. En algunas de ellas, se reúnen varias subrutinas que por sus características tienen afinidades. En la penúltima sección, se describen las subrutinas que no son llamadas directamente desde el programa principal pero que son necesarias para el buen desempeño de las funciones del controlador. La última sección del capítulo, presenta un listado de todas las variables y constantes que el controlador maneja clasificadas de acuerdo a sus características.

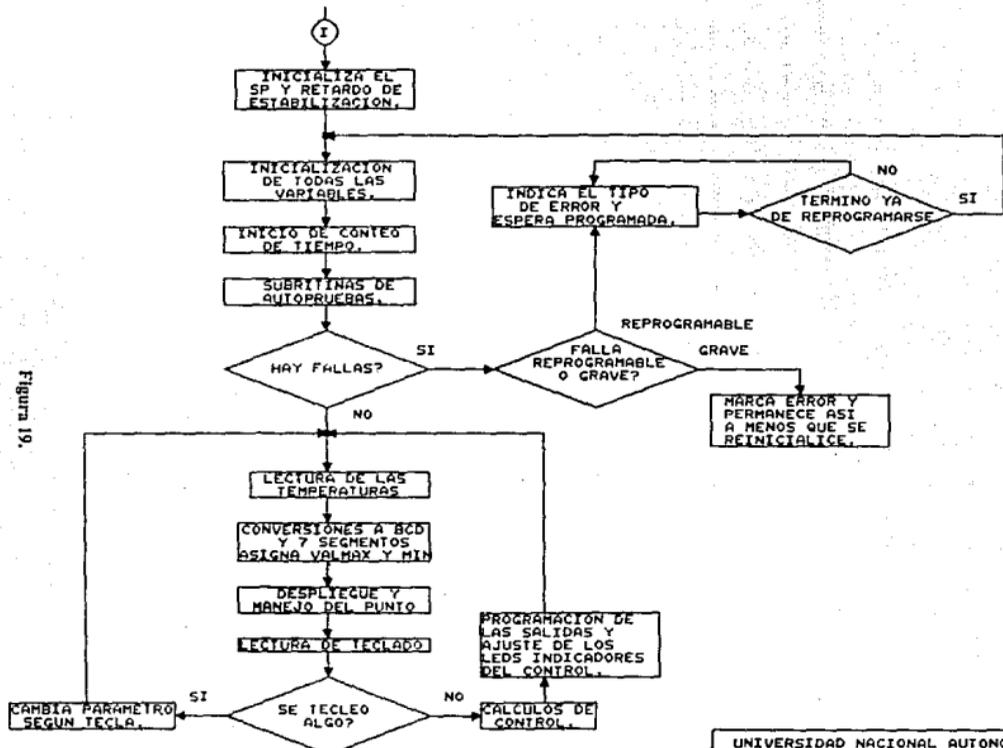


Figura 19.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.		
FACULTAD DE INGENIERIA.		
URIEL SCHULLER SLOMIANSKI.		
DIAGRAMA DE FLUJO DEL FIRMWARE.		
Title		
CONTROLADOR DE TEMPERATURA		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 19	USS

5.3 Sección de Equivalencias y Asignaciones.

El principio del programa controlador incluye alrededor de 155 renglones de asignaciones y equivalencias. Estas tienen como propósito facilitar el diseño de las subrutinas ya que hace innecesario el manejo de constantes numéricas dentro del listado de instrucciones, siempre es más fácil recordar la dirección de un puerto con un nombre que con un número.

El programa ensamblador, permite que una vez asignada una equivalencia entre etiquetas y valores (p.e. CONSTANT EQU 32H), se usen indistintamente el valor y su etiqueta (p.e. es lo mismo escribir después de la asignación anterior: LD A,CONSTANT que LD A,32h). Si se utiliza esta opción para designar direcciones de la memoria RAM o de periféricos, las etiquetas funcionan como variables que se pueden modificar o leer para el control; de este modo, la asignación de etiquetas a direcciones específicas de memoria o de periféricos, facilita enormemente la programación. Por ejemplo, en la sección de lectura del convertidor A/D se observan las siguientes instrucciones, de no haber asignado los valores anteriormente esto no sería posible:

```
IN A, (CONVAD)      ;LEE EL PUERTO DEL CONVERTIDOR A/D
LD (TEMPER), A     ;LO GUARDA COMO VARIABLE DE TEMP.
```

En la sección de asignaciones y equivalencias se definen entonces tanto las constantes, como los nombres de las variables y las direcciones de los periféricos usados.

5.4 Inicialización de Variables.

El principio del programa inicializa todas las variables que deben tener valores específicos durante el proceso. el orden y los valores que se asignan aparece a continuación:

- Al SP (Stack Point) se le asigna el valor 17FFH que es la dirección inferior del Stack.
- Los registros de tiempo se llenan con ceros (0000H) al encender o resetear el equipo
 - Reg. de 20mS cumplidos BUF20MIL: EQU 1500H
 - Reg. de décimas de segundo BUFDECI: EQU 1502H
 - Reg. secundero BUFSEG: EQU 1504H
 - Reg. minuterero BUFMINUT: EQU 1506H

- Reg. horario. BUFIHORAS: EQU 1508H
- Reg. de tiempo de teclado BUFTITEC: EQU 150AH
- Reg. indicador de nivel de aceleración. BUFTITE2: EQU 150CH
- Reg. indicador de tiempo de display. BUFTDISP: EQU 150EH
- Registros y banderas de los coronómetros.
 - Contador de tiempo activo. CRONOM1: EQU 1520H
 - Límite al que debe llegar CR1LIM: EQU 1522H
 - Bandera indicadora de activación FLCRON1: EQU 1524H
 - Bandera indicadora de tiempo cumplido FLCRIYA: EQU 1525H
 - Contador de tiempo activo. CRONOM2: EQU 1526H
 - Límite al que debe llegar CR2LIM: EQU 1528H
 - Bandera indicadora de activación FLCRON2: EQU 152AH
 - Bandera indicadora de tiempo cumplido FLCR2YA: EQU 152BH
 - Contador de tiempo activo. CRONOM3: EQU 152CH
 - Límite al que debe llegar CR3LIM: EQU 152EH
 - Bandera indicadora de activación FLCRON3: EQU 1530H
 - Bandera indicadora de tiempo cumplido FLCR3YA: EQU 1531H
 - Contador de tiempo activo. CRONOM4: EQU 1532H
 - Límite al que debe llegar CR4LIM: EQU 1534H
 - Bandera indicadora de activación FLCRON4: EQU 1536H
 - Bandera indicadora de tiempo cumplido FLCR4YA: EQU 1537H
 - Contador de tiempo activo. CRONOM5: EQU 1538H
 - Límite al que debe llegar CR5LIM: EQU 153AH
 - Bandera indicadora de activación FLCRON5: EQU 153CH
 - Bandera indicadora de tiempo cumplido FLCR5YA: EQU 153DH
- Registros de control inicializados también en ceros
 - Mitad de la constante de tiempo KTIEMP2: EQU 1544H
 - Tiempo que el control permanece encendido TON: EQU 1548H
 - Tiempo que el control permanece apagado TOFF: EQU 154CH
 - Tiempo que el cont. perm. apa. el sig. ciclo TTT: EQU 1550H

- Tiempo perdido en delays TPERDIDO: EQU 1554H
- Registros de modo inicializados.
 - Apunta a la variable actual CONTVAR: EQU 1560H
 - Apunta a la tabla de límites CONTLIM: EQU 1562H
 - Indicador del estado del display STADISP: EQU 1564H
 - Indic. de la proced. del llamado PROCEDEN: EQU 1566H
 - Indicador de primer ciclo realizado PRIMVEZ: EQU 1568H
- Inicialización de las banderas de estados poniendolas en ceros.
 - Bandera del modo de ejecución FLMOD0: EQU 1300H
 - Band. del comando realizado FLCOMAND: EQU 1302H
 - Band. de tecla apretada FLTECLA: EQU 1304H
 - Band. de aceleración de teclado FL2AVEZ: EQU 1306H
 - Band. de edos. actuales de las salidas FLSALIDA: EQU 1308H
 - Indicador de salida en LEDS FLSTATD: EQU 130AH
 - Indic. de existencia de punto decimal FLSIPUNT: EQU 130CH
 - Indicador de signo de dato desplegado FLSIGNO: EQU 130EH
 - Indicador de signo del error FLSIGNER: EQU 1310H
- Inicialización de los registros de despliegue.
 - Dirección de la memoria de despliegue DISMEM: EQU 1400H
 - Buffer del primer grupo de LEDS BUFLED1: EQU 1400H
 - Buffer del segundo grupo de LEDS BUFLED2: EQU 1401H
 - Indic. de la posición del punto decimal BUFPUNT: EQU 1410H
 - Reg. patrón de 7 segm. del dígito actual PATRDIG: EQU 1412H
 - Buffer del patrón BUFAT1: EQU 1414H
 - Valor en binario de lo desplegado AUXDIS: EQU 1420H
 - Valor en 7segm. de lo desplegado AUXDIS7: EQU 1430H
 - Apuntador del dígito actual DIGACT: EQU 1440H
 - Contador del dígito actual CONTDIG: EQU 1442H
 - Apuntador del letrero actual BUFMENS: EQU 1444H
 - Variable cambiante virtual VARCAMB: EQU 1480H

- **Inicialización del CTC Z80.**
 - Reseteo de los cuatro canales del CTC Z80 cargándoles el valor 03H en cada uno de ellos.
 - Programación del Modo 1 de Interrupción.
 - Programación del canal 1 del CTC como temporizador cargándole una constante de tiempo que sea equivalente a 20ms.
 - Habilitación de las interrupciones.
- Carga del valor 0BFh en PATRDIG para señalar al primer dígito.
- Carga del valor 05h en CONTDIG para inicializar el contador de dígitos.
- Carga del valor DISMEM en DIGACT para apuntar al primer registro de memoria del display.

Una vez realizadas todas estas inicializaciones el programa entra a la sección de autopruebas que se discute más adelante.

5.5 Reloj y Programación de los Temporizadores.

5.5.1 Inicialización del Reloj.

El canal 1 del CTC es el único periférico que se habilita durante la inicialización para interrumpir la secuencia del programa. El motivo de que se haya proyectado el sistema de este modo, es la posibilidad de tener un reloj interno con una precisión lo suficientemente buena como para confiarle el conteo de tiempo de todo el proceso.

Durante la inicialización del sistema, las interrupciones se habilitan únicamente en el MODO 1 es decir, no hace falta que el periférico mande un vector de interrupción para localizar la dirección de la subrutina de interrupción adecuada. De hecho, cuando el CPU detecta la interrupción, terminará la instrucción que realiza, almacenará en stack la dirección actual y brincaré a la dirección 0038H ya que el MODO 1 de interrupciones siempre lo hace de esa forma. Por ese motivo, la subrutina del reloj está ubicada en la dirección mencionada. La ausencia de otro tipo de interrupciones asegura que la subrutina de reloj se realice siempre sin retrasos de tiempo.

La selección del modo 1 de interrupción, también se debe a que en el no se requiere una tabla de vectores de interrupción que ocupan lugar en memoria.

La subrutina de reloj se puede analizar a partir del diagrama de flujo de la figura 20. En el, se distingue la forma escalonada de la subrutina, de esta forma sólo se realizan los chequeos, incrementos y reinicializaciones de variables indispensables para cada ocasión. Así se logra reducir al máximo el tiempo durante el cual el control

del programa está dentro de la interrupción y por lo tanto fuera del programa principal.

La subrutina de reloj comienza deshabilitando las interrupciones para que por ningún motivo se realicen interrupciones a mitad de interrupciones (anidamiento), posteriormente se guardan en el STACK todos los registros que pudieran ser afectados por la subrutina de interrupción; el proceso inverso se realizará antes de salir de la subrutina, de este modo se asegura que no se perderá información de la subrutina interrumpida.

Como el temporizador del CTC fué programado para interrumpir cada 20mS, entrar a la subrutina implica que se ha cumplido este tiempo, por lo tanto, la primera actividad de la subrutina propiamente dicha es la de la carga del contador de veintemilésimos de segundo y su incremento, si el incremento de esta variable provocó que el contador llegue a cinco, quiere decir que se ha cumplido una décima de segundo, por este motivo, antes de almacenar la variable del contador de 20mS, se reinicia poniendo de nuevo en ceros, se carga el contador de décimas de segundo incrementándolo. Esta actividad se repite para los segundos y minutos. Es obvio que los contadores de tiempo pueden llegar máximo a 5 con los veintemilésimos de segundo, a diez con las décimas, a sesenta con los segundos, y a sesenta con los minutos.

Antes de regresar el control al programa principal, la subrutina de reloj verifica también el estado de los temporizadores. Cada vez que se cumple una décima de segundo, se incrementan (sin importar si están activos o no) los registros de estos. Cuando el reloj a incrementado, reiniciado o mantenido, todos los registros de tiempo, verifica cada una de las banderas de los cinco temporizadores para identificar si están o no activas, en caso de estarlo, hace las operaciones pertinentes para revisar si las nuevas modificaciones en los registros del reloj han completado el tiempo programado para cada uno de ellos. Si el temporizador ha llegado a su valor deseado, prenderá una bandera de "alarma" y reseteará la bandera de activación del temporizador específico.

5.5.2 Programación de Temporizadores.

El sistema cuenta con cinco temporizadores en firmware que se pueden programar desde cualquier parte del programa.

El primer temporizador se usa inicialmente para contar el tiempo que se mantienen encendidos todos los LED's del display durante las autopruebas. Una vez dentro del Loop, se utiliza para generar retrasos en la lectura del teclado, de tal modo que se lea inicialmente el teclado sólo una vez cada seis décimas de segundo durante 20 ocasiones, después, la programación del temporizador se reducirá a una décima de segundo por otras doce ocasiones más, y si aún se sigue manteniendo el botón presionado se acelerará la secuencia de avance no programando el temporizador.

El segundo temporizador se utiliza para contar el tiempo que se mantiene el controlador fuera del modo CORRIDA y con el display presentando la variable del proceso. Este temporizador se programa cada vez que se presiona alguna tecla,

modificando o manteniendo lo que se vé en el display, si no se tecléa nada por espacio de veinte segundos, el temporizador llegará al valor en el que se prende la "alarma" del temporizador y esta devolverá el controlador a su modo normal. (Se entiende por modo normal estar en modo CORRIDA y presentando la VP en el display.

El Tercer temporizador se programa desde la subrutina de control para indicar el tiempo que la salida del controlador se mantendrá encendida. Este valor se calcula en función de las variables de control y de la variable de proceso misma, se puede programar en un rango entre cero y 1800 décimas de segundo.

El cuarto temporizador se programa desde la subrutina de control siempre con el valor de la variable KTIEMP que guarda el tiempo que el usuario desea que dure el ciclo de control, este valor puede ser desde una uno hasta 180 segundos.

El quinto temporizador se usa como contador del tiempo que requiere la conversión A/D (30ms).

Se puede hacer un llamado desde cualquier parte del programa a la subrutina PROCRON para activar uno de los temporizadores por el tiempo que se desee desde una hasta 65536 décimas de segundo. Para ejemplificar esto, presentamos un fragmento de la prueba del display donde se programa el temporizador 1 para contar por 30 décimas de segundo. Es importante hacer hincapié en que la llamada a la subrutina requiere cargar previamente el acumulador con el número del contador que se programa y el registro HL con la cantidad de décimas de segundo que se quiere contar:

```

...
...
LD A, 01      ;SE PROGRAMARA EL TEMPORIZADOR 1
LD HL, 001CH ;POR 30 DECIMAS DE SEGUNDO (1CH = 30)
CALL PROCRON ;PROGRAMA TEMPORIZADOR.
...
...

```

La subrutina PROCRON realiza las siguientes actividades:

- 1.-Identifica el temporizador que se quiere programar
- 2.-Guarda en el registro de límite del temporizador específico el valor que hay en HL.
- 3.-Limpia el registro contador del temporizador para empezar el conteo desde ceros.
- 4.-Activa la bandera de "temporizador activo".
- 5.-Resetea la bandera de "conteo terminado" o "alarma".

5.5.3 Chequeo de los Temporizadores.

Desde el punto de vista del programa principal, el conteo se hace en forma automática, ya que este se realiza dentro de la rutina de interrupción.

La revisión de que el temporizador esté activo, y que su contador llegue al valor deseado, se realiza durante la misma rutina de reloj; la bandera de temporizador activo obliga a la rutina a llamar a la subrutina de chequeo del contador CHECRON, en ella se compara entre el valor límite del temporizador y el contador. Si son iguales o se supera el límite, la subrutina CHECRON prenderá la bandera de fin de conteo o "alarma", y reseteará la bandera del temporizador activo.

En la rutina del programa principal, el chequeo del temporizador se hace por poleo. Si el tiempo con el que se programó el temporizador, o si no se quiere que se realice ninguna actividad adicional mientras que el temporizador está bajo el límite, se puede incluir la verificación del temporizador dentro de un pequeño loop del programa que se mantenga hasta cumplir el tiempo esperado. Cuando el tiempo es muy grande comparado con el tiempo del ciclo de control, se utiliza al ciclo del programa principal como el loop de poleo.

Un ejemplo de como se revisa si el temporizador llegó al tiempo predefinido aparece en el fragmento del programa siguiente que representa la sección de la prueba del display donde pasan 3 segundos desde que se encendieron todos los LED's:

```
TESTDISP: ...
...
LD A, (FLCR1YA);REVIS LA ALARMA DEL TEMPORIZADOR 1
CP OFFH      ; OFFH = YA SE CUMPLIO EL TIEMPO
JR NZ,TESTDISP ;NO LLEGO, SIGUE SUBRUT TESTDISP
...
```

5.5.4 Subrutinas de Tiempo Adicionales.

Quando se necesita generar un retraso pequeño (con duración menor a una décima de segundo), se aprovecha la subrutina denominada PIERDET. Esta, toma como entrada al valor almacenado en HL, utilizándolo como límite de un contador de hasta dieciseis bits. La subrutina PIERDET se muestra a continuación:

```
PIERDET: DEC L
        JR NZ,PIERDET
        DEC H
        JR NZ, PIERDET
        RET
```

PIERDET, se utiliza principalmente en dos ocasiones dentro del programa: Al principio de este para generar un pequeño retraso que asegure que las asignaciones e inicializaciones se realicen cuando el sistema esté totalmente estable; la segunda ocasión es al momento de detectar que se ha teclado algo, la lectura del teclado siempre se realiza dos veces con un "debounce" o retraso entre ambas ocasiones, esto asegura que no haya sido ruido lo que se detectó como primera lectura, y para que funcione como un amortiguador del botón, de tal modo que el ruido que la presión de la tecla genera no se considere como presionar la tecla varias veces. Este retraso disminuye también el costo del hardware ya que hace innecesario poner capacitores para filtrar el ruido en el teclado.

5.6 Autopruebas

5.6.1 Justificación de Las Autopruebas.

La programación del controlador, es una labor que puede llevar algún tiempo. En los procesos industriales por lo general es importante poder mantener el proceso en forma continua porque de no ser así podría reducirse la calidad del producto terminado, o peor aún, que este no sea aprovechable. Si por algún motivo se llegara a presentar una falla en el suministro de la energía eléctrica, aunque sea por el transcurso de unos segundos, esto podría causar varios daños ya que la información almacenada en la memoria RAM del controlador se perdería y sería necesaria su reprogramación. Por tal motivo, el sistema fue diseñado de tal modo que los datos almacenados en la memoria RAM permanezcan aún por más de cinco años aunque no tenga energía eléctrica.

Pero es necesario verificar cada vez que se enciende el equipo, se reinicia o se reprograma, que la información almacenada es adecuada para realizar el control. De hecho, el controlador realiza una serie de pruebas que verifican tanto el buen estado de la memoria RAM como la existencia de información en ella en orden y congruente. También se realizan pruebas de hardware que bloquearían la continuidad del proceso si se detectaran anomalías en la lectura de la señal del termopar.

Las pruebas que se realizan cada vez que se enciende el equipo, se resetea o se reprograma son las siguientes:

5.6.2 Prueba de Display.

Esta prueba es la única que requiere la "colaboración" del usuario cuando se realiza, consiste en encender todos los LED's del display por un lapso de tres segundos; con esto, el usuario puede verificar que todos los LED's funcionen y que la lectura que se presente en la pantalla será lo que realmente se debe ver. Si un LED o uno de los segmentos de los números no enciende, el usuario deberá estar conciente que esto ocurre, y será responsabilidad de él suspender el proceso hasta que la substitución de la pieza se haya realizado o efectuar el proceso sin importar la mala indicación.

La forma en la que se implementó esta prueba es mediante el uso de la subrutina de despliegado de letreros DESPLE, uno de estos (TAPRU) presenta todos los segmentos encendidos. La rutina realiza la secuencia siguiente cuyo diagrama de flujo aparece en la figura 21:

- Programa el temporizador 1 para que funcione por 30 décimas de segundo.
- Pone como patrón de punto decimal un byte FFh para que se enciendan todos.
- Carga el mismo valor FFh en los registros de los indicadores del primer y segundo bloques de LED's indicadores.
- Prende la bandera de existencia de punto decimal.
- Apunta al letrero TAPRU previamente mencionado.
- Hace una llamada a la Subrutina DESPLE (que se explicará más adelante).
- Verifica el estado del temporizador para asegurar que se cumplan las 30 décimas. Si no es así, se repite toda la secuencia desde el segundo punto.

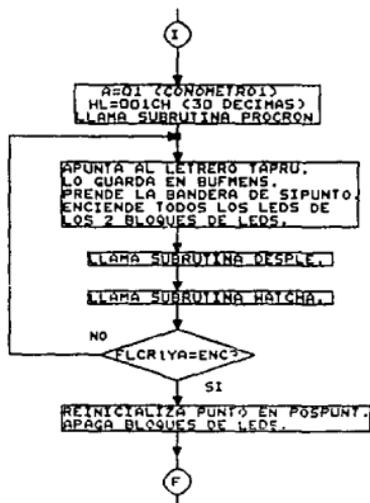


Figura 21.

- Si se cumple el tiempo programado se cargan ceros en los registros de punto decimal y de indicadores de LED's.

5.6.3 Prueba de Memoria RAM.

Los dos kilobytes que componen la memoria RAM están ubicados en el mapa de memoria entre las direcciones 1000h y 17FFh inclusive, la prueba de memoria RAM consiste en leer cada uno de los bytes de esta región y almacenarlo temporalmente en un registro interno del CPU esto se hace para conservar la información almacenada en memoria. Posteriormente se escribe en la misma dirección un patrón no simétrico que es leído de nuevo para verificar si la lectura y la escritura fueron correctas. Esto se repite en el mismo registro pero con el complemento del patrón usado anteriormente, así, la verificación asegura que tanto un "1" como un "0" se pueden escribir y leer en cada uno de los bits de ese registro. Antes de pasar a la siguiente localidad de la memoria se regresa el dato original almacenado.

El patrón que se utiliza para hacer la prueba es una ACh (10101100) por considerarlo un byte asimétrico, el segundo patrón es su complemento 53h (01010011).

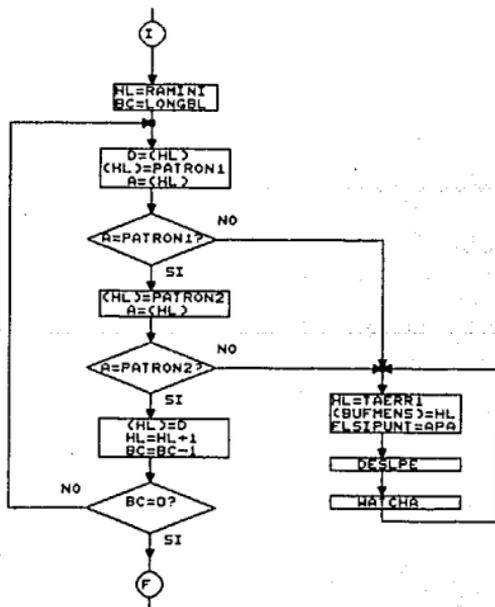


Figura 22.

La importancia de la asimetría radica en que son comunes las fallas en los dispositivos de memoria donde el resultado aparece como un byte simétrico (p.g. FFh, C0h, etc.)

Si un error es detectado durante la comparación del patrón escrito y el leído, la subrutina brinca a un loop del que no hay salida, esto se hace porque un error en memoria RAM implica que un desperfecto de hardware que sólo se puede corregir substituyendo la memoria misma. Además, el hecho de que existiera un error de este tipo implica que los datos no son válidos para el control.

El loop de error al que se llega si detecta alguna falla en la memoria RAM se denomina RAMAL y hace uso de la subrutina DESPLE para desplegar el letrero TAERR1; de aquí que el letrero que aparece en display es el del error número 1 "ERR1", sin puntos decimales.

Un diagrama de flujo indicando la secuencia de esta prueba se presenta en la figura 22.

5.6.4 Pruebas de Respaldo.

El controlador está diseñado de tal forma que los datos de programación por parte del usuario se almacenen de manera redundante en dos bloques. Cada dato ocupa cuatro bytes en cada bloque, el dato útil son los dos bytes centrales y los extremos son patrones asimétricos que separan al dato útil de los demás. El patrón del principio es un byte 3Ah y el del final un A3h.

La primera prueba de respaldo consiste en la revisión de los patrones de uno de los bloques, si este patrón es correcto, se avanza a la siguiente prueba, si no lo es, se brinca al loop donde se indica en pantalla la existencia del error.

La segunda prueba del respaldo consiste en comparar uno a uno los bytes de los dos bloques, la longitud actual del bloque es de 72 bytes (48h) ya que hay 18 variables que se programan y cada una cuenta con 2 bytes de patrones y dos de datos reales. El espacio calculado para futuras expansiones es de 512 bytes por bloque. Al igual que en la prueba anterior, encontrar que los datos no coincidan implicaría un brinco al loop de manejo de errores en display.

La tercera prueba del respaldo es la de incongruencia de datos entre sí. La programación de las alarmas de control debe ser en forma inteligente ya que se puede dar el caso en que los SETPOINTS de las alarmas estén demasiado cerca del SETPOINT del control e inclusive encima de el, si esto ocurriera, su activación sería constante y su objetivo no se cumpliría. Por este motivo se implementó una secuencia de pruebas de congruencia que verifique que la posición de las alarmas dista lo suficiente del SETPOINT del control como para ser de utilidad.

Para explicar esto en forma más simple se discutirá las aplicaciones para las cuales se diseñaron las dos alarmas:

La ALARMA 1 está diseñada para activar un dispositivo acústico y luces en el tablero de control de tal modo que el supervisor del proceso se percate de la

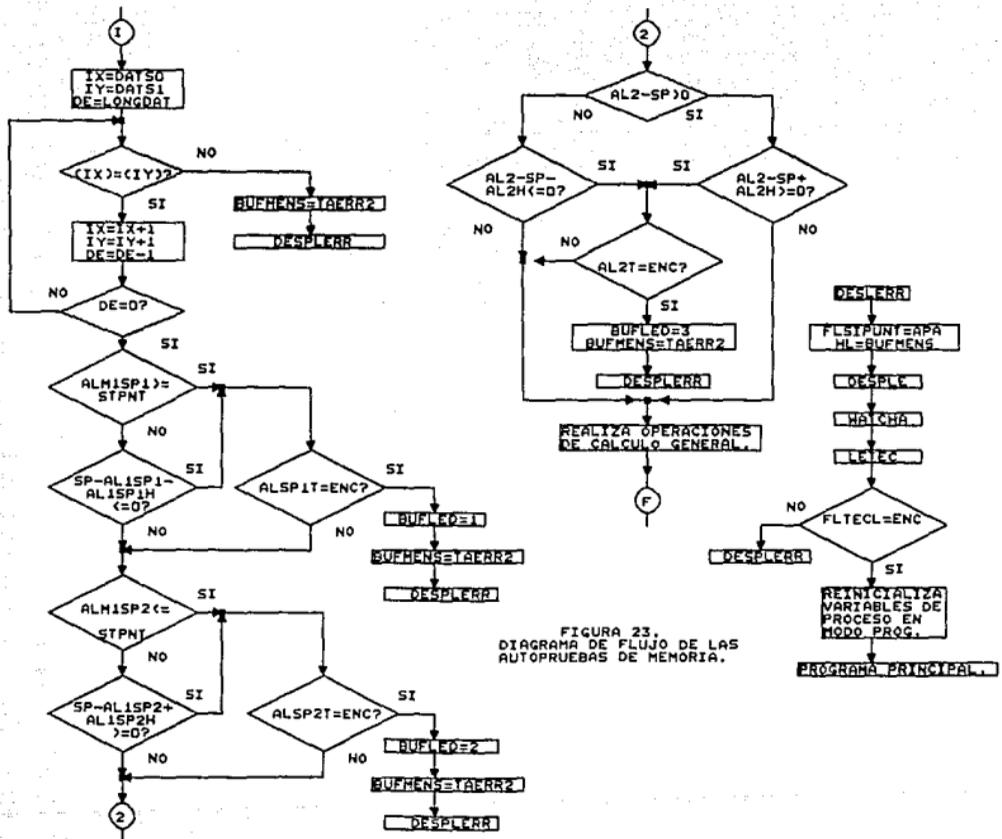


FIGURA 23.
DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS
AUTOPRUEBAS DE MEMORIA.

Figura 23.

existencia de una situación peligrosa para el proceso. Esta situación puede ser por estar la variable del proceso más abajo o más arriba de los límites permisibles. Por este motivo, la ALARMA 1 puede activarse cuando el valor de la VP está MAS ABAJO del SETPOINT 1 de la ALARMA 1 o esté MAS ARRIBA del SETPOINT 2 de la misma. El SETPOINT 1, siempre debe ser el inferior y el 2 el superior. Una vez que se haya activado la ALARMA 1 por pasar los límites, no se desactivará a menos que el valor de la VP se acerque de nuevo al valor esperado por el SETPOINT de control.

Pero superar el punto definido por el SETPOINT 1 de la ALARMA 1 o por el contrario, estar por debajo del SETPOINT 2, no es suficiente para desactivar la alarma ya que esto propiciaría el desgaste del relevador de la alarma cuando la VP esté en el entorno del punto de disparo. Para evitar esto se incluyen dos variables: HISTERESIS DEL SETPOINT 1 DE LA ALARMA 1 e HISTERESIS DEL SETPOINT 2 DE LA ALARMA 1, estos son valores definibles por el usuario que indican la "ventana" que se desea entre el punto de activación de la alarma y su punto de desactivación.

Por ejemplo, poner el SETPOINT 1 de la ALARMA 1 en 100.0 y su HISTERESIS en 5, implica que la ALARMA 1 se encenderá si la VP está por debajo de 100.0 y se desactivará sólo hasta que esté por arriba de 105.0. Con el SETPOINT 2 de la ALARMA 1 sucede lo mismo pero en el sentido inverso. Si no se desea manejar la ALARMA 1 en el proceso a controlar, se puede "apagar" pasando el switch lógico del firmware de la ALARMA 1 de "ENC" a "APA".

Existe un switch lógico para cada uno de los SETPOINT's de la primera alarma, esto se implementó para que el usuario pueda usar el relevador de esta alarma para encender o apagar dispositivos sólo de un lado del SETPOINT de control, del mismo modo que la ALARMA 2.

La ALARMA 2 está diseñada para conectar a su relevador un dispositivo auxiliar de emergencia. El SETPOINT de esta alarma se puede colocar indistintamente por arriba o abajo del SETPOINT de control. Ponerlo por debajo en un proceso de control térmico sería útil para conectar un bloque de resistencias adicionales a las del control que aseguren un calentamiento aún más rápido del que el control proporcional puede entregar. Poner el SETPOINT de la alarma por arriba se puede usar para accionar sistemas de enfriamiento de emergencia.

LA ALARMA 2 cuenta también con una variable de HISTERESIS que le asegura una larga vida al relevador y un switch lógico que permite no usarla durante el proceso a controlar.

Las autopuebas de respaldo que revisan la congruencia realizan la siguiente secuencia:

- RESTA (Compara) el SETPOINT DE CONTROL con el SETPOINT 1 de la ALARMA 1, si el segundo es superior al primero verifica el switch lógico 1.
- Si la resta anterior es positiva, compara el resultado con la histéresis. Si el nuevo resultado señala que el segundo es mayor que el primero, la histéresis comprende al

SETPOINT de control, por lo que la alarma nunca se desactiva, en consecuencia va a revisar el switch lógico 1. Si el resultado fue correcto, salta a la siguiente prueba. La revisión del switch implica que los datos pueden estar mal programados siempre y cuando esta alarma este "APAGADA"; si la secuencia del programa llegó hasta aquí y el switch lógico 1 está encendido, se debe marcar error.

- RESTA (Compara) el SETPOINT 2 de la ALARMA 1 con el SETPOINT DE CONTROL, si el segundo es superior al primero verifica switch lógico 2.
- Si la resta anterior es positiva, compara el resultado con la histéresis. Si el nuevo resultado señala que el segundo es mayor que el primero, la histéresis comprende al SETPOINT de control, por lo que la alarma nunca se desactiva, por consiguiente va a revisar el switch Lógico 2. Si el resultado fue correcto, salta a la siguiente prueba. La revisión del switch implica que los datos pueden estar mal programados siempre y cuando esta alarma este "APAGADA"; si la secuencia del programa llegó hasta aquí y el switch 2 está encendido, se debe marcar error.
- La revisión de la ALARMA 2 se hace por arriba y por abajo del SETPOINT de control sumándole o restándole la histéresis según el caso, también se verifica la activación del Switch lógico de esta alarma sólo en el caso de que esta se encime con el SETPOINT de control.

Como las pruebas de respaldo y congruencia de los datos se realizan después de haber probado la memoria RAM, se puede asegurar que un error en los datos es únicamente por mala programación y no porque haya algún problema en el hardware del equipo. Por este motivo, tanto la falla en la prueba de existencia de patrones, como la verificación de respaldo y la incongruencia de datos, deben conducir a un loop que presente en display un indicador de error pero que esté monitoreando el teclado para percibir el momento en el que el usuario desea reprogramar los datos y corregir el error. Este loop es una subrutina denominada DESPLERR que se describe con detalle en la siguiente sección de este capítulo, donde se habla de las subrutinas de despliegue.

Un diagrama de flujo de las pruebas de respaldo se puede observar en la figura 23.

Si todas las pruebas fueron aprobadas, la secuencia del programa llega a un punto donde se realizan cálculos a partir de los datos válidos ya verificados:

La constante proporcional que se introduce como dato, está en unidades porcentuales, es decir, el valor introducido indica el porcentaje del rango total de la variable de proceso (de -10 a $1100 = 1110^{\circ}\text{C}$), en el cual se desea que el controlador realice acción de control proporcional.

Por ejemplo, un valor de la constante proporcional KPROP de 10 equivale al 10% del rango, o sea, 111 grados, 55 para arriba y 55 para abajo del SETPOINT, más abajo de este valor, el controlador estará constantemente encendido y más arriba de este valor el controlador estará constantemente apagado.

Antes de entrar a la rutina principal, se almacena en el registro GRPROP el valor de KPROP multiplicado por 5.5 ya que esto facilitará algunos cálculos de control que por tenerlos previamente almacenados, reducirán significativamente el período del ciclo de control. Algunos de estos datos previamente calculados son los puntos de siempre concedido C1 y de siempre apagado C2:

$$C1 = \text{SETPOINT} \cdot (1110/50)KPROP$$

$$C2 = \text{SETPOINT} + (1160/50)KPROP$$

Se puede observar que estas fórmulas darán el mismo resultado que las utilizadas en la sección 4.16. Cabe mencionar que en el programa a la banda proporcional se le denomina constante proporcional o KPROP.

5.7 Pruebas de Monitoreo Constante.

Si el equipo se apaga y se vuelve a encender, se reprograma o resetea; la rutina de autopruebas se efectuará. No existe otro motivo que pudiera llegar a causar un error en el proceso de control. Si por algún motivo, el programa se sale de secuencia, dejará de mandar señales al watchdog por lo que este reseteará el sistema y las autopruebas se realizarán.

Por lo anterior se infiere que no hay posibilidad de que el controlador realice o deje de realizar alguna labor que el usuario no esté conciente. Sin embargo existen otros tipos de error que se deben monitorear constantemente para asegurar aún más el buen fin del proceso controlado. Estos errores son eminentemente externos al mismo controlador por lo que este no es capaz de corregirlos pero si puede detectarlos y actuar a favor de la seguridad del proceso.

El primer tipo de error se presenta si el termopar o su cable extensión, se dañan por corrosión, corto circuito o por quemarse el sensor.

En cualquiera de estos casos, la señal que percibe el convertidor A/D es teóricamente nula (0 microvolts). Cuando esta situación se presenta el controlador brinca a un loop de error del que no se puede salir a menos que se apague el equipo y sustituya la parte o corrija el desperfecto. Este tipo de falla se reconoce ya que se presenta en pantalla el letrero de error 4.

El segundo tipo de error es el contrario al anterior, si el termopar o cable de extensión se abre como consecuencia de un accidente o por rupturas. En este caso el circuito se abre, el voltaje se puede elevar a valores superiores a los del límite permitido en firmware. Detectar un valor de estas características mandaría el control a un loop de error que presente el mensaje de error 5.

Los mensajes de error 6 y 9 se presentarán si el ruido eléctrico es significativo y causa problemas en los algoritmos internos del sistema del controlador.

Todos los errores anteriores despliegan el número de error al mismo tiempo que actúan sobre el relevador de salida como lo programó el usuario con anterioridad en la variable KBURN; Si KBURN señala "ENC", la salida se fijará en esta posición hasta que sea corregido el desperfecto. Si KBURN señala "APA", la salida se mantendrá apagada hasta que el usuario corrija el daño.

Esta alternativa se presenta para darle versatilidad al controlador ya que se puede utilizar el sistema tanto para procesos térmicos de calefacción como de refrigeración.

5.8 Los Mensajes de Error.

La forma de comunicar el mal funcionamiento del equipo es a través de mensajes de error, estos pueden ser visualizados como consecuencia de una llamada especial de subrutina o desde la subrutina DESPLER. En el primer caso, los mensajes se presentarán en forma indefinida ya que el programa brinco a un loop donde no se puede salir a menos que se apague el equipo, este tipo de llamados se realiza cuando el error detectado es de hardware y no tiene solución a menos que se corrija o sustituya la pieza dañada, Esto sólo se puede hacer apagando el controlador. La presentación de letreros a través de la rutina DESPLERR permite salir del loop si se tecléa cualquier tecla, entrando inmediatamente al modo PROG.

Los errores que se pueden visualizar en el display son los siguientes:

- **ERR1.-** Error de RAM, la prueba de lectura y/o escritura no fueron aprobadas. Se recomienda apagar el equipo, esperar unos minutos y volver a encender, si el mensaje vuelve a aparecer, es necesario sustituir la memoria RAM por otra.
- **ERR2.-** Error de Respaldo de datos, los patrones que envuelven a los 18 datos no se cumplen, o el primer bloque de datos no coincide con el segundo. Este error se puede corregir reprogramando TODOS los datos del controlador.
- **ERR3.-** Error de congruencia, las alarmas se enciman al SETPOINT y están encendidas o los SETPOINT de la ALARMA 1 están del lado equivocado del SETPOINT de control estando encendida. Este tipo de error presenta un indicador adicional que permite dirigirse directamente a corregir el problema: Si el letrero de ERR3 aparece junto con el LED de ALMI SP1, el error se produjo debido a la incompatibilidad de esta variable con el SETPOINT de control, lo mismo sucederá con la incompatibilidad de ALMI SP2 y la ALARMA 2 con el SETPOINT de control.

Este error se puede corregir de cuatro formas distintas:

- Reubicando el SETPOINT DE CONTROL de tal modo que su posición con respecto a las alarmas no cause conflicto.
- Desactivando la ALARMA que se encuentra fuera de lugar apagando el switch lógico correspondiente.

- Reubicando el SETPOINT de la ALARMA que cause el conflicto de tal modo que se aleje del SETPOINT de control en el sentido correcto.
- Cambiando el ancho de la HISTERESIS de la alarma que está causando conflicto de tal modo que esta no comprenda la posición del SETPOINT de control.
- ERR4.- Error en rango de lectura de la variable del proceso (TERMOPAR QUEMADO), en el caso del sistema, el límite inferior del termopar es de -10 grados, si por algún motivo se percibe una lectura inferior a este valor, se considera que el termopar se ha quemado o está en corto circuito. Como este error es externo, el controlador no dejará de indicar el mensaje mientras que se encuentre encendido. La salida permanecerá como lo indique la variable KBURN.
- ERR5.- Error en rango de lectura de variable de proceso (TERMOPAR ABIERTO), este error se presenta cuando la línea del termopar se ha abierto por lo que las lecturas se disparan a valores superiores al límite de 1100 grados. Como este error es externo, el controlador no dejará de indicar el mensaje mientras que se encuentre encendido. La salida permanecerá como lo indique la variable KBURN.
- ERR6.- Error de algoritmo, este error se genera cuando la secuencia del programa ha llegado a un punto en donde los datos no favorecen a la toma de decisiones, esto sucede en ocasiones cuando hay mucho ruido en la línea y la información interna del controlador no es confiable. Como es un problema ajeno al controlador, este no podrá salir del loop de error a menos que se apague y vuelva a encender el sistema. Muy probablemente este tipo de error vendrá acompañado de errores de respaldo y de congruencia. La salida permanecerá como lo indique la variable KBURN.
- ERR7.- Mensaje reservado para futuras expansiones.
- ERR8.- Mensaje reservado para futuras expansiones.
- ERR9.- Error no definido, este error se genera en situaciones imprevistas donde existe ruido en la línea. Como es un problema ajeno al controlador, este no podrá salir del loop de error a menos que se apague y vuelva a encender el sistema. Muy probablemente este tipo de error vendrá acompañado de errores de respaldo y de congruencia. La salida permanecerá como lo indique la variable KBURN.

5.9 Subrutinas de Despliegue de Información.

5.9.1 Despliegue de Dígitos y Caracteres.

El display del controlador, como se describió anteriormente, está ubicado en la tarjeta frontal y presenta cuatro dígitos y medio para el despliegue de los datos y dos bloques de LED's para la visualización rápida de información de control y despliegue.

Como se explicó en la sección 3.6, el puerto de segmentos está localizado en la dirección 51h del mapa de periféricos y se le denomina SEGMENTS. El puerto de dígitos está localizado en la dirección 52h del mapa de periféricos y se denomina DIGITS.

El dato que se encuentra en cierto momento en SEGMENTS sólo será visible en los dígitos que el puerto DIGITS mantenga activos. Es decir, la información de los segmentos y LED's que se deben encender se multiplexa entre los dígitos y bloques de LED's.

El orden en el que se presentan cada uno de los segmentos o LED's en el puerto SEGMENTS y el orden de los dígitos está explicado en la sección de implementación de la tarjeta frontal del capítulo 3, aunque no se repita en este capítulo, es importante estar informados del orden para poder entender la forma en la que funciona la subrutina DISUP.

El despliegue de la información se puede realizar desde diferentes rutinas dependiendo del tipo de información que se despliega; si es un número, el despliegue es directo desde la subrutina DISUP, si es un letrero alfanumérico, el despliegue se realiza desde la subrutina DESPLE, pero esta llamará a DISUP.

DISUP, es una subrutina de despliegue de información dígito por dígito. Cada vez que se hace un llamado a DISUP, se despliega un dígito mientras que los demás se mantienen apagados. Disup es una subrutina independiente de los parámetros que tenga el controlador.

DISUP es la sección del firmware que más veces se realiza ya que debe utilizarse una vez por cada vez que se despliega un dígito. Puede ser llamada en forma indiferente desde cualquier parte del programa, de hecho, es la única rutina que el programa principal llama varias veces.

Debido a que el dígito más significativo es físicamente diferente a los demás (es medio dígito signado), y a que el manejo de la información de los bloques de LED's no se puede manejar como el resto de los dígitos, DISUP debe ser una subrutina en cierto modo inteligente. La secuencia de instrucciones que realiza se puede listar del siguiente modo:

- 1.-Carga el número del dígito que corresponde desplegar, y la dirección donde se encuentra el valor a desplegar (Por lo general DISMEM).
- 2.-Apaga todos los dígitos y todos los segmentos para que durante los movimientos no se vea "ruido" en el display.
- 3.-Revisa si el valor del contador de dígitos corresponde al primer bloque de LED's (05h), si es así, carga el patrón actual de este bloque y lo manda desplegar (punto 8).
- 4.-Revisa si el valor del contador de dígitos corresponde al segundo bloque de LED's, si es así, carga el patrón actual de este bloque y lo manda desplegar (punto 8).
- 5.-Carga el valor del dato a desplegar almacenado en la dirección de memoria apuntada.

- 6.-Encuentra el equivalente en código de 7 segmentos del dato leyendo este patrón de la tabla TABLA7. El patrón se encuentra en la dirección de memoria TABLA7 + dato.
- 7.-Revisa si la información a desplegar lleva punto decimal, si es así, verifica si en el dígito actual. De corresponder a este dígito, prende el bit 7 del patrón.
- 8.-Manda al puerto SEGMENTS el patrón de siete segmentos encontrado en los pasos anteriores.
- 9.-Manda al puerto DIGITS el patrón del dígito a desplegar.
- 10.-Decrementa el contador de dígitos, si el contador llegó a cero pasa al punto 12.
- 11.-Gira el patrón de dígitos para que corresponda al siguiente dígito a desplegar y termina la subrutina.
- 12.- Carga un nuevo patrón de dígitos correspondiente al primer bloque de LED's, Carga un 05h en el contador de dígitos para que el conteo comience de nuevo, termina la subrutina (a este punto sólo se llega desde el punto 10 por haber llegado el contador de dígitos a cero).

Como se puede ver de la secuencia anterior, los dígitos se van desplegando desde la izquierda a la derecha comenzando por los bloques de LED's. Esto se debe a que es mucho más frecuente el cambio de valor del dígito menos significativo que los demás y desplegando en este sentido, se asegura que el valor del LSD sea congruente con el de los demás mientras dura el despliegue de todos; además, el algoritmo es más eficiente si el contador de dígitos se decrementa.

El patrón leído en la tabla TABLA7 corresponde bit a bit a los segmentos que deberán encenderse para que el caracter se visualice correctamente; esta tabla incluye los números y las letras que se pueden desplegar en 7 segmentos. Es importante recalcar que algunos caracteres cambiarán en el medio dígito más significativo ya que la configuración física de este es diferente. En la próxima página aparece un listado de la tabla TABLA7 del mismo modo como quedó grabada en firmware:

TABLA7: .BYTE 3FH,06H,5BH,4FH ;0 1 2 3
 .BYTE 66H,6DH,7DH,07H ;4 5 6 7
 .BYTE 7FH,67H,77H,7CH ;8 9 A B
 .BYTE 39H,5EH,79H,71H ;C D E F
 .BYTE 76H,10H,0EH,38H ;H I J L
 .BYTE 54H,5CH,73H,50H ;N O P R
 .BYTE 78H,3EH,72H,40H ;T U Y -
 .BYTE 48H,63H,00H,1EH ;= GRAD, ESPACIO, +1
 .BYTE 1FH,18H,10H,00H ;-1, +, -

```

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;; EL CODIGO QUEDA ESTRUCTURADO DEL SIGUIENTE MODO ;;
;; 0=00 9=09 J=12 --=1B ==1C ;;
;; 1=01 A=0A L=13 GRADOS=1D ;;
;;2=02 B=0B N=14 ESPACIO=1E ;;
;; 3=03 C=0C O=15 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;; 4=04 D=0D P=16 ; +1= 1F PARA EL MEDIO ;;
;; 5=05 E=0E R=17 ; -1= 20 DIGITO MAS ;;
;; 6=06 F=0F T=18 ; + = 21 SIGNIFICATIVO ;;
;; 7=07 H=10 U=19 ; - = 22 ;;
;; 8=08 I=11 Y=1A ; ;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

```

5.9.2 Manejo del Punto Decimal.

Por la complejidad que representan los cálculos con punto flotante, en el controlador no se manejan puntos decimales en forma real. Sin embargo su aparición en el display se simula y controla siendo posible modificar la posición donde aparece.

La forma en la que se maneja el punto es definida junto con el tipo de variable, la precisión y el rango que se usará. Como el proyecto controla temperatura dentro de un rango de -10 hasta 1200 °C con una precisión de décimas de grado, se puede establecer que la mayor parte del tiempo, el punto decimal aparecerá entre el primer y segundo dígito. Por ese motivo se definió una constante (que puede ser modificada durante la programación) llamada POSPUNT y que vale 02h.

En forma natural, cada vez que se visualiza la variable del proceso o los setpoints de control y alarmas, se carga esta constante en la variable **BUFPOINT**.

Antes de desplegar cualquier dato, se prende la bandera **FLSIPUNT** si se desea que el dato tenga punto decimal o se apaga si no se quiere así.

La rutina **DISUP**, verifica el estado de la bandera **FLSIPUNT** cada vez que va a desplegar un dígito. Si la bandera está prendida, efectúa una operación **OR LOGICA** entre la variable **BUFPOINT** (donde está en 1 el bit que debe tener punto) y el patrón de dígito actual **DIGACT** (donde está en 0 el bit equivalente al dígito que será encendido en esta ocasión). Si el resultado de la operación resulta ser **FFh** quiere decir que este dígito debe llevar punto decimal.

Si el dígito lleva punto decimal, en el patrón de siete segmentos se enciende el bit 7.

Cuando se realiza la prueba de display en la sección de autopuebas, antes de llamar a **DISUP**, se carga en **BUFPOINT** el valor **3Fh** para que en todos los dígitos la operación **OR LOGICA** resulte en **FFh**; al terminar la subrutina se vuelve a cargar **POSPUNT** en **BUFPOINT**.

Cuando se despliegan letreros donde el punto decimal no debe aparecer, no se limpia el registro **BUFPOINT** sino que simplemente se apaga la bandera **FLSIPUNT**.

5.9.3 Despliegue de Datos.

Cuando el controlador detecta algún tipo de error y cuando se realiza la prueba del display, se debe desplegar un mensaje en el display, pero no se puede hacer uso directo de la subrutina **DISUP** dentro del loop de control ya que no se tiene la certeza de que los parámetros de control sean correctos. Por tal motivo fue necesaria la implementación de rutinas que llamaran a **DISUP** pero fuera de secuencia.

En todos los casos donde el programa sale de secuencia (o todavía no llega a ella, como en la prueba de display) y es necesario desplegar información, esta corresponde a mensajes predefinidos que no requieren ser calculados como un dato.

El despliegue de los mensajes se realiza haciendo un llamado a la subrutina **DESPLE**, esta toma como entrada el dato contenido en **HL** y lo interpreta como la dirección de memoria donde empieza el mensaje (siempre de 7 bytes).

La rutina **DESPLE** reinicia el contador de dígitos y el patrón del dígito actual y manda llamar por siete veces consecutivas la subrutina **DISUP**.

Como esta subrutina siempre se realiza fuera de secuencia de control (pero dentro de secuencia lógica), se aprovecha su ciclo para hacer llamados a la subrutina **WATCHA** evitando que el watchdog reinicialice el controlador.

En resumen, **DESPLE** manda llamar a **DISUP** y a **WATCHA** siete veces resultando con esto un despliegue completo del letrero apuntado por **HL**.

DESPLER se utiliza en la prueba de display dentro de un loop que dura tres segundos; en la subrutina DESPLERR presentando el mensaje hasta que se presione alguna tecla, y en los loop sin salida de despliegue de errores RAMAL, ALGORMAL, RANGMAL, y NODEFMAL.

La Tabla de mensajes posibles se presenta a continuación tal y como aparece listada en el programa:

```

TAERR1: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,01H ;ERR1 RAM DANADA
TAERR2: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,02H ;ERR2 DE RESPALDO*
TAERR3: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,03H ;ERR3 DE DATOS *
TAERR4: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,04H ;ERR4 RANGO LECT.
TAERR5: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,05H ;ERR5 TERMOP.ABIERTO
TAERR6: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,06H ;ERR6 ALGORITMO
TAERR7: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,07H ;ERR7
TAERR8: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,08H ;ERR8
TAERR9: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,17H,17H,09H ;ERR9 NO DEFINIDO
TAON: .BYTE 00H,00H,1EH,0EH,14H,0CH,1EH ;ON MENSAJE "ENC"
TAOFF: .BYTE 00H,00H,1EH,0AH,16H,0AH,1EH ;OFF MENSAJE "APA"
TAPRU: .BYTE 08H,08H,08H,08H,08H,08H,08H ;PRUEBA DE DISPLAY
; * ERRORES QUE TIENEN SALIDA DEL LOOP CON TECLADO (DESPLERR).

```

Es importante aclarar que los mensajes de "ENC" y de "APA" que aparecen en la tabla, no se despliegan a través de DESPLE ya que estos ocurren siempre dentro de la secuencia de control.

5.9.4 Clasificación de los Diferentes Tipos de Datos Desplegables.

Dentro del ciclo de control, se despliegan diferentes datos, que según su tipo, son visualizados en la pantalla de diferentes formas dependiendo de la variable a la que se refiera.

El controlador es capaz de presentar (independientemente de los mensajes de error) tres formatos de datos diferentes:

- Formato numérico normal.- Es el que presenta el dato numérico a través del display junto con los patrones de los bloques de LED's pero sin ninguna información adicional. En este formato se incluyen las variables:
 - VP o variable del proceso.
 - SETPOINT de control.
 - SETPOINT 1 de la ALARMA1.

- SETPOINT 2 de la ALARMA 1.
- SETPOINT de la ALARMA 2.
- VALOR MAXIMO al que ha llegado la VP.
- VALOR MINIMO al que ha llegado la VP.

Todos ellos aparecen con signo negativo o sin signo, y con valores absolutos desde 0.0 hasta 1199.9; por eso requieren los cuatro dígitos y medio. Su despliegue no interfiere los bloques de LED's que señalan el estado de la salida y alarmas.

- **Formato numérico desplazado.**- Es el que presenta el dato numérico y los patrones de los LED's junto con una letra indicadora de la variable que se observa. La letra puede ser cualquiera de entre las letras: H, t, P, r, d, i. Como este caracter aparece en el dígito menos significativo, el dato se desplaza un dígito a la izquierda teniendo entonces tres y medio dígitos para desplegar. Los datos pueden aparecer con o sin signo negativo y en un rango absoluto que va desde 0.0 hasta 180.0 . Su presentación no interfiere con el despliegue de los bloques de LED's que señalan el estado de la salida y las alarmas. Las variables que tienen este formato son:
 - HISTERESIS de la ALARMA 1 SETPOINT 1.
 - HISTERESIS de la ALARMA 1 SETPOINT 2.
 - HISTERESIS de la ALARMA 2.
 - CONSTANTE PROPORCIONAL.
 - CONSTANTE DIFERENCIAL.
 - CONSTANTE INTEGRAL.
 - CONSTANTE de TIEMPO.
 - CONSTANTE de RESET.
- **Formato alfanumérico de ON-OFF.**- Este formato no presenta un valor numérico sino el estado de una bandera que se puede encontrar ENCendida o APAgada. La pantalla puede presentar en cada caso un mensaje "APA" o uno "enc" entre los dígitos dos y cuatro sin descuidar la presentación de los bloques de LED's que señalan el estado de la salida y alarmas. Las variables que presentan este formato son:
 - SWITCH LOGICO de la ALARMA 1 SETPOINT 1.
 - SWITCH LOGICO de la ALARMA 1 SETPOINT 2.
 - SWITCH LOGICO de la ALARMA 2.
 - KBURN o constante de emergencia.

5.9.5 Selección del Tipo de Formato a Desplegar.

Cada variable, tiene asociada cierta cantidad de información acumulada según el número de variable en diferentes tablas. Para la selección del formato en que

se debe presentar el dato, se consulta una tabla denominada TAFLAGS y que aparece listada a continuación:

```

TAFLAGS: .BYTE 00H ;00H TEMPERATURA
          .BYTE 00H ;01H SETPOINT
          .BYTE 00H ;02H ALM1SP1
          .BYTE 0FH ;03H ALM1SP1H
          .BYTE 0F0H ;04H ALM1SP1T
          .BYTE 00H ;05H ALM1SP2
          .BYTE 0FH ;06H ALM1SP2H
          .BYTE 0F0H ;07H ALM1SP2T
          .BYTE 00H ;08H ALM2SP
          .BYTE 0FH ;09H ALM2H
          .BYTE 0F0H ;0AH ALM2T
          .BYTE 0FH ;0BH KPROP
          .BYTE 0FH ;0CH KRESET
          .BYTE 0FH ;0DH KDIFER
          .BYTE 0FH ;0EH KINTEG
          .BYTE 0FH ;0FH KTIEMP
          .BYTE 0F0H ;10H KBURN
          .BYTE 00H ;11H VMAX
          .BYTE 00H ;12H VMIN

```

Como se puede ver, existen cuatro posibles "estados" de las banderas TAFLAGS que dependerán del formato de la variable, a saber:

- 00H.-La variable tiene formato numérico normal.
- 0FH.-La variable tiene formato numérico desplazado.
- F0H.-La variable tiene formato alfanumérico ON-OFF.
- FFH.-Reservado para futuras expansiones.

Dentro de la rutina DECODIF se hacen varias llamadas a diferentes subrutinas entre las cuales encontramos CONVBCD que convierte el dato de binario a BCD; CONV7SEG convierte el dato de BCD al código de siete segmentos que maneja

el controlador, y mediante un chequeo de la bandera TAFLAG de la variable se identifica el tipo de formato a desplegar: Si la bandera es 00H, se acepta el dato directamente tal y como es, y se procede a verificar los LED's. Si la bandera es 0FH se llama a la subrutina DESPLAZ antes de verificar LED's; y por último, si la bandera es F0H, se llamará a la subrutina ONOFF antes de revisar LED's. Existe un filtro para marcar error en caso de que la bandera no coincida con ninguno de los tres casos habilitados, generalmente este caso se presenta cuando hay ruido eléctrico excesivo en el sistema. La rutina de error se denomina ALGORMAL y despliega el mensaje de error 6.

En la siguiente sección se describe la forma en la que se despliega un dato numérico de tipo normal, más adelante se describirán las subrutinas DESPLAZ y ONOFF para los otros tipos de despliegue.

5.9.6 Los Datos Numéricos en Formato Normal.

El despliegado del formato numérico normal incluye, como se mencionó anteriormente, la presentación de los dígitos junto con los indicadores de estado.

En la sección anterior se indicó que la rutina DECODIF es la que se encarga de definir el tipo de formato que debe llevar la información al desplegarse, pero no se mencionó la forma en la que se incorpora la información referente a los estados de control y display.

Aunque las subrutinas de conversión que componen la sección DECODIF del programa se explican más adelante, en esta sección se describe el procedimiento general que se sigue en el manejo de esta información.

DECODIF es la rutina "interprete" y "filtro" de la información que el controlador posee, la secuencia que sigue se lista a continuación:

- 1.-Limpia los registros donde se almacenará el resultado de las conversiones de binario a BCD y de BCD a siete segmentos.
- 2.-Identifica el tipo de display que actualmente se debe desplegar y carga en el registro de conversión la variable a convertir. Las variables se listan a continuación:
 - (1) 00H VP, variable del proceso compensada (temperatura del termopar).
 - (2) 01H SETPOINT, punto ideal de la variable de proceso.
 - (3) 02H ALM1SP1, setpoint 1 de la alarma 1.
 - (4) 03H ALM1SP1H, histéresis del setpoint 1 de la alarma 1.
 - (5) 04H ALM1SP1T, switch lógico del setpoint 1 de la alarma 1.
 - (6) 05H ALM1SP2, setpoint 2 de la alarma 1.
 - (7) 06H ALM1SP2H, histéresis del setpoint 2 de la alarma 1.
 - (8) 07H ALM1SP2T, switch lógico del setpoint 2 de la alarma 1.
 - (9) 08H ALM2SP, setpoint de la alarma 2.

- (10) 09H ALM2H, hitéresis de la alarma 2.
 - (11) 0AH ALM2T, switch lógico de la alarma 2.
 - (12) 0BH KPROP, constante proporcional.
 - (13) 0CH KRESET, constante de reset.
 - (14) 0DH KDIFER, constante diferencial.
 - (15) 0EH KINTEG, constante integral.
 - (16) 0FH KTIEMP, constante de tiempo.
 - (17) 10H KBURN, constante de burnout o de ruptura de termopar.
 - (18) 11H VMAX, valor máximo al que ha llegado la VP.
 - (19) 12H VMIN, valor mínimo al que ha llegado la VP.
- 3.-LLama a la subrutina CONVBCD. Como resultado de esto, en la dirección de memoria AUXDIS aparece el dato convertido al código BCD.
 - 4.-LLama a la subrutina CONV7SEG. Como resultado de esto, en la dirección de memoria AUXDIS7 aparece el dato convertido a código interno de siete segmentos.
 - 5.-Carga la bandera TAFLAG de la variable visualizada y llama a las subrutinas mencionadas según el caso:
 - 00h - FOCOS0
 - 0Fh - DESPLAZ
 - F0h - MUEVIZ
- 6.-Verifica si el modo es PROG o RUN, en el primer caso carga en el el registro C un 20h para iniciar el patrón del primer bloque de LED's con el indicador de PROG encendido. El segundo caso iniciará el patrón con un 40h. (El LED de PROG es el sexto del patrón y el de RUN el octavo).
 - 7.-Carga en el acumulador el registro FLSTATD que contiene la información de los estados de las salidas y lo enmascara en un AND LOGICO con el byte 1Eh para que sólo se mantengan en uno los bits equivalentes a la salida de control, a la alarma 1 encendida por el setpoint 1, a la alarma 1 encendida por el setpoint 2, y al indicador de alarma 2 encendida.
 - 8.-Realiza la operación OR LOGICA entre C y el acumulador para juntar el "patrón" del bloque 1 de LED's con los indicadores de salida de control y almacena el resultado en BUFLED1 que corresponde al registro de memoria que presenta la información del bloque 1 de los LED's.

- 9.- A partir del número de variable, carga el patrón del segundo bloque de LED's BUFLLED2 según la lista siguiente:

PATRON ALMACENADO	Número	Nombre de Variable
00h	(1)	00H VP
80h	(2)	01H SETPOINT
01h	(3)	02H ALM1SP1
01h	(4)	03H ALM1SP1H
01h	(5)	04H ALM1SP1T
02h	(6)	05H ALM1SP2
02h	(7)	06H ALM1SP2H
02h	(8)	07H ALM1SP2T
04h	(9)	08H ALM2SP
04h	(10)	09H ALM2H
04h	(11)	0AH ALM2T
08h	(12)	0BH KPROP
08h	(13)	0CH KRESET
08h	(14)	0DH KDIFER
08h	(15)	0EH KINTEG
08h	(16)	0FH KTIEMP
10h	(17)	10H KBURN
20h	(18)	11H VMAX
40h	(19)	12H VMIN

- 10.- Copia la información acumulada de bloques de LED's y de códigos de siete segmentos, en la región de memoria de la que la rutina DISMEM desplegará en el display.

De la lista que aparece en el punto 9 se deduce que el segundo bloque de LED's presenta la información referente a la variable que se visualiza prendiendo un solo LED por vez respetando el orden mencionado en el capítulo 3 de este trabajo.

La subrutina FOCOS0, llamada siempre que el formato del display es normal, asegura que el display aparezca completo. FOCOS0 copia el valor de la constante POSPUNT en el registro BUFPOINT y enciende la bandera FLSIPUNT. Con esto aparecerá el punto decimal en el lugar deseado.

5.9.7 Presentación de los Datos Numéricos Desplazados.

Cuando el tipo de variable requiere que el formato de despliegue sea desplazado, se hace un llamado a la rutina DESPLAZ que tiene la siguiente secuencia:

- 1.-Recorre el código de siete segmentos del cuarto dígito al quinto medio dígito.
- 2.-Recorre el código de siete segmentos del tercer dígito al cuarto.
- 3.-Recorre el código de siete segmentos del segundo dígito al tercero.
- 4.-Recorre el código de siete segmentos del primer dígito al segundo.
- 5.-Revisa que el dato que quedó en el medio dígito más significativo sea 1, -1, tenga sólo el signo negativo o esté apagado. Con esto se hace una presentación del dato con "justificación a la derecha", esta labor es únicamente por motivos de estética.
- 6.-Carga el registro BUFPUNT con un 04h para que el punto decimal aparezca entre el tercer y el segundo dígito.
- 7.- A partir del número de variable, pone en el registro del dígito menos significativo el código de siete segmentos de la letra adecuada según la lista siguiente e inmediatamente termina la subrutina:

PATRON	LETRA	NUMERO	NOMBRE
10h	"H"	(4) 03H	ALM1SP1H
10h	"H"	(7) 06H	ALM1SP2H
10h	"H"	(10) 09H	ALM2H
16h	"P"	(12) 0BH	KPROP
17h	"r"	(13) 0CH	KRESET
0Dh	"d"	(14) 0DH	KDIFER
11h	"i"	(15) 0EH	KINTEG
18h	"l"	(16) 0FH	KTIEMP

Estas son las únicas variables que tienen formato desplazado y por lo tanto su bandera TAFLAG corresponde a 0Fh.

5.9.8 Presentación de los Datos con Formato ENC-APA.

Cuando la variable que se visualiza en el display es de tipo binario, la información que puede presentar es un indicador de "encendido" o "apagado".

Internamente, el controlador maneja esta variable como una palabra llena de unos para indicar que la variable está apagada y llena de ceros para indicar que la variable está encendida. El uso de lógica negada es explicada más adelante en la sección de teclado.

Cuando la secuencia del controlador llega hasta la rutina de ONOFF, se carga en el acumulador el estado de la variable, si esta está formada por ceros, copia el letrero TAON en los registros de despliegue. Si la variable está formada por unos copia el letrero TAOFF.

Como los letreros ya están en código de siete segmentos, no es necesaria la conversión de binario a BCD y de BCD a 7 segmentos, sin embargo, la rutina se realiza para que el ciclo de control se mantenga dentro de un tiempo promedio.

5.9.9 Conversión de Binario a BCD.

La rutina DECODIF descrita en la sección anterior, hace un llamado a la subrutina CONVBCD para convertir de binario a BCD el dato que se debe visualizar.

Todas las operaciones de control que realiza el equipo, se hacen con valores en binario almacenados en variables de dieciseis bits. La subrutina CONVBCD convierte la variable que se visualiza de binario a BCD como paso intermedio para convertir posteriormente el resultado a código de siete segmentos.

El algoritmo que sigue esta rutina debe tomar en consideración el signo del dato antes de hacer operaciones. El bit más significativo de la palabra funciona como signo, por este motivo, una revisión del MSB decide si se requiere o no llamar a la subrutina COMPLEM para complementar el valor del dato.

La subrutina CONVBCD toma como entrada el dato almacenado en los registros HL y entrega el dato en los tres bytes que empiezan en la dirección de memoria AUXDIS. AUXDIS es una variable de 3 bytes ya que el valor convertido a BCD puede tener hasta cinco dígitos cada uno ocupando un nibble de cuatro bits; el nibble más significativo no se usa.

La subrutina CONVBCD tiene la siguiente secuencia:

- 1.-Señala con un registro apuntador a la tabla TABCD que corresponde a los valores en decimal de cada bit de una palabra.
- 2.-Inicializa el contador de bits cargando un 10h.
- 3.-Revisa el bit más significativo del registro H para verificar el signo del dato, si es cero, apaga la bandera FLSIGNO para informar que es positivo el dato y continúa normalmente, si el bit resulta ser uno, prende la bandera FLSIGNO y hace un llamado a la subrutina COMPLEM que entrega en HL el mismo dato pero en dos complemento.
- 4.-Señala con otro apuntador a la dirección AUXDIS y revisa el bit de HL señalado por el contador de bits, si es cero brinca al punto 7 sin realizar el 6.
- 6.-Como a este punto se llega sólo si el bit es uno, suma el equivalente en decimal de este bit al registro AUXDIS pero haciendo ajustes decimales con operación. (se usa la instrucción DAA).
- 7.-Incrementa tres veces el apuntador de TABCD ya que cada dato de TABCD es de tres bytes.

- 8.-Decrementa el contador de bits y revisa si llegó a cero, si es así, termina la subrutina, de otro modo brinca al paso 4.
- 9.- Regresa la secuencia a la rutina que hizo el llamado.

La tabla TABCD se presenta en la siguiente página tal y como aparece en el listado del programa:

;TABLA PARA QUE EL PROGRAMA DE CONVERSION DE BINARIO A BCD SE
 ;PUEDA UTILIZAR, REPRESENTA EL VALOR NUMERICO DE CADA BIT
 ;SEGUN SU POSICION ABSOLUTA: SI EL BIT ES UNO, SE SUMA ESTE A
 ;UN BUFFER; SI NO, SE SIGUE CON OTRO BIT HASTA TERMINAR.

```
TABCD: .BYTE 01H,00H,00H ;1
        .BYTE 02H,00H,00H ;2
        .BYTE 04H,00H,00H ;4
        .BYTE 08H,00H,00H ;8
        .BYTE 16H,00H,00H ;16
        .BYTE 32H,00H,00H ;32
        .BYTE 64H,00H,00H ;64
        .BYTE 28H,01H,00H ;128
        .BYTE 56H,02H,00H ;256
        .BYTE 12H,05H,00H ;512
        .BYTE 24H,10H,00H ;1024
        .BYTE 48H,20H,00H ;2048
        .BYTE 96H,40H,00H ;4096
        .BYTE 92H,81H,00H ;8192
        .BYTE 84H,63H,01H ;16384
        .BYTE 68H,27H,03H ;32768
        .BYTE 36H,55H,06H ;65536
        .BYTE 72H,10H,13H ;131072
```

Cabe mencionar que por las características actuales del equipo, el desplegado en pantalla máximo posible es de + - 1999.9 lo que corresponde prácticamente a veinte mil, esta rutina de conversión permite hacer conversiones hasta 424,288 limitado solamente por la cantidad de registros de memoria que utiliza AUXDIS.

5.9.10 Manejo de valores Signados.

El manejo de los valores signados en el sistema es igual al de cualquier equipo digital moderno, el dato se almacena y manipula en binario para que ocupe menos espacio y lleve menos tiempo las operaciones con él. Todos los datos ocupan dos bytes. El MSB representa al signo de la variable: si es '0' el número es positivo y está representado directamente en binario por los siguientes quince bits. Si el MSB es '1' el valor es negativo y está representado en dos complementos en los mismos quince bits.

La verificación del signo para el dato que se debe visualizar se realiza en la subrutina CONVBCD descrita en la sección anterior, el manejo de los datos negativos será igual al de los positivos sólo después de haber pasado por la subrutina COMPLEM que proporciona el dos complementos del dato. La operación dos complementos no existe en forma directa como instrucción del Z80-CPU por lo que se realiza primero el complemento directo (complemento a uno) y se le suma uno.

Cuando el dato es negativo, la subrutina CONVBCD prende la bandera FLSIGNO que es revisada durante la conversión a siete segmentos para encender el LED del signo en el display, esta actividad se explica mejor en la siguiente sección.

5.9.11 Conversión del Código BCD al Código de Siete Segmentos.

Los datos convertidos a código BCD y almacenados en los registros AUXDIS durante la subrutina CONVBCD son convertidos posteriormente al código de siete segmentos desde la rutina DECODIF cuando esta hace un llamado a la subrutina CONV7SEG. Los patrones de siete segmentos son almacenados en los registros AUXDIS7. La secuencia de CONV7SEG aparece listada a continuación:

- 1.- Apunta con IX al nibble menos significativo del dato bcd a convertir (cada dígito en bcd ocupa sólo cuatro bits = un nibble).
- 2.- Apunta con IY al registro AUXDIS7 donde se almacenará el dato convertido.
- 3.- Inicializa el contador de nibbles. (03h)
- 4.- Carga en el acumulador el dato apuntado por IX
- 5.- Enmascara y gira el byte del dato para dejar sólo el nibble que se usará en la parte menos significativa del byte.
- 6.- Guarda este dato en el registro apuntado por IY.
- 7.- Incrementa IY.
- 8.- Carga de nuevo el dato apuntado por IX en el acumulador.
- 9.- Enmascara el byte del dato para dejar sólo el nibble que se usará en la parte menos significativa del byte.
- 10.- Almacena el dato en el registro apuntado por IY.
- 11.- Decrementa el contador de nibbles
- 12.- Si el contador no ha llegado a cero repite desde 4 la secuencia.

- 13.-Revisa el dato más significativo, si es cero, lo sustituye por un espacio, si el dato es mayor a uno, se enciende el signo positivo como un indicador de error ya que el medio dígito no puede representar esta información.
- 14.-Revisa FLSIGNO, si el dato es negativo, enciende el bit equivalente del LED del signo negativo.
- 15.-Si en el punto trece apareció un cero, se revisa también el siguiente dato para sustituir por espacio en caso de ser cero, esto se repite en los tres dígitos siguientes siempre y cuando no haya aparecido un dato diferente de cero.

La secuencia anterior se puede resumir del siguiente modo:

En el código BCD, cada cuatro bits representa un dato que puede ser desde cero (0000b) hasta 9 (1001b). El código de siete segmentos que maneja el controlador es semejante pero expandido a ocho bits de tal modo que el número en binario que representa este dato, corresponde a la posición en la que su patrón de siete segmentos equivalente aparece en la tabla TABLA7 y que posteriormente la rutina DISUP utilizará en el despliegue. El orden coincide en los primeros casos con los números y las primeras letras del alfabeto, por lo que la conversión de siete BCD a siete segmentos es tan sencilla como "expandir" un nibble a un byte. Así, un dato que ocupa dos bytes y medio en BCD, ocupará cinco en siete segmentos.

Por ejemplo el dato 01 23 45h al convertirse a siete segmentos será: 00 01 02 03 04 05h, y estos valores los usará DISUP como offset en cada despliegue para encontrar sucesivamente los patrones 3Fh, 06h, 5Bh, 4Fh, 66h y 6Dh que están en la tabla TABLA7 en los lugares respectivos.

Por cuestiones de estética, en la presentación de datos numéricos, se sustituyen los ceros a la izquierda hasta el dígito de las unidades por espacios vacíos. Esto se logra substituyendo el dato 00h que representa al cero en la secuencia de TABLA7 por el 1Eh que corresponde al espacio.

5.10 Decodificación del Teclado.

La sección del programa que más espacio en memoria ocupa, es la que se dedica a la decodificación del teclado y la manipulación de la información a partir del resultado obtenido en esta. Esto se debe a que cada botón del teclado puede hacer un llamado a realizar diferentes actividades a partir de los parámetros en los que se encuentre en el momento de haber sido oprimido. Además, hay varias actividades que se realizan siempre que una tecla es presionada sin importar cual.

En forma general se puede decir que la rutina LECTURA debe realizar las siguientes actividades:

- Leer el teclado.
- Verificar si hubo alguna tecla presionada.

- De haber existido una tecla oprimida, identificar cual, reiniciar el contador de tiempo de display, llamar a la subrutina adecuada para la tecla presionada, acondicionar el tiempo de aceleramiento del teclado. Se enciende la bandera de segunda vez. Se reprograma el temporizador de tiempo de display.
- De no haberse teclado nada, revisar el modo actual y el tiempo de display, si este último ya transcurrió (15 segundos) desde que se presionó la última tecla, y no se está en modo normal, se regresan todas las variables a modo normal inclusive la de display. Se resetea la bandera de segunda vez. Si el modo en el que se encontraba era PROG, se regresa a modo RUN y se realizan las AUTOPRUEBAS.

El teclado, está formado por ocho teclas cuyo orden se describió en el capítulo 3, las actividades que realiza cada una son las siguientes:

• BOTON 1.- GRAB

- En modo RUN reinician los valores máximo y mínimo al que ha llegado la VP guardando en estas variables el valor actual de laVP.
- En modo PROG, graba el valor de la variable visualizada actualmente en forma permanente. El uso de esta función asegura que no se almacenen datos equivocados como datos válidos ya que de no oprimir este botón para cada vez que se modifique una variable durante la programación, el dato previo al cambio permanecerá como válido.

• BOTONES 2 y 3.- NO ACTIVOS

Está proyectado su aprovechamiento en futuras versiones del controlador, para la subrutina de Autocalibración. Para los fines de este prototipo, estos botones son detectados al ser presionados, pero no modifican variables de control. Sin embargo, su detección resetea el temporizador del tiempo de display.

• BOTONES 4 y 5.- SETUP UP y SETUP DOWN

El Botón 4 es SETUP UP y el 5 (abajo del 4) es SETUP DOWN. En modo RUN, Permiten visualizar en forma secuencial las diferentes variables de control:

- VP (Variable Proceso).- Es la que aparece en forma natural e indica el estado actual de la variable controlada, en nuestro caso la temperatura.
- SETPOINT.- Es el valor ideal al que se quiere que se mantenga la variable. En un diagrama de bloques de un sistema de control al setpoint se le vería como el INPUT.
- ALM1SP1 (SETPOINT 1 ALARMA 1).- Es el valor de la variable de proceso por debajo del cual se encenderá la primera alarma. Es importante remarcar, que en el firmware, se verifica que este valor este POR DEBAJO de la resta del valor del SETPOINT y de la histéresis de la alarma 1.
- ALM1SPIH (Histéresis de ALM1SP1).- para evitar que cuando la variable del proceso VP esté en el entorno de ALM1SP1, el relevador de la alarma 1 se encienda y apague desgastándose rápidamente, se asigna un valor de histéresis,

de tal modo que, una vez encendida la alarma, no se apague hasta que el valor de VP supere $ALM1SP1 + ALM1SP1H$.

- **ALM1SP1T.**- Aún cuando se programe la alarma, esta no estará activa si esta variable indica "APA" en el display. Es el switch lógico de la alarma.
- **ALM1SP2 (SETPOINT 2 ALARMA 1).**- Es el valor de la variable de proceso por encima del cual se encenderá la primera alarma. Es importante remarcar, que en el firmware, se verifica que este valor este POR ENCIMA de la suma del valor del SETPOINT y de la histéresis de la alarma 1.
- **ALM1SP2H (Histéresis de ALM1SP2).**- para evitar que cuando la VP esté en el entorno de ALM1SP2, el relevador de la alarma 1 se encienda y apague rápidamente, se asigna un valor de histéresis, de modo, que una vez encendida la alarma, no se apague hasta que el valor de la Variable de Proceso esté por debajo de $ALM1SP1 - ALM1SP1H$.
- **ALM1SP2T.**- Aún cuando se programe la alarma, esta no estará activa si esta variable está apagada. Es el switch lógico de la alarma.
- **ALM2SP (SETPOINT ALARMA 2).**- Es el valor de la variable de proceso por encima o por debajo del cual se encenderá la segunda alarma. Es importante remarcar, que en el firmware, se verifica que este valor este POR ENCIMA O POR DEBAJO de la suma o resta del valor del SETPOINT y de la histéresis de la alarma 2 dependiendo el caso.
- **ALM2H (Histéresis de ALM2).**- Para evitar que cuando la VP esté en el entorno de ALM2SP, el relevador de la alarma 2 se encienda y apague rápidamente, se asigna un valor de histéresis de tal modo que una vez encendida la alarma, no se apague hasta que el valor de la VP esté por debajo de $SPALM2 + ALM2H$.
- **ALM2T.**- Es el switch lógico de la alarma, aún cuando se programe la alarma, esta no estará activa si ALM2T indica "APA" en el display.
- **KPROP (Constante Proporcional).**- Es el porcentaje del rango total de medición de la VP dentro del cual se manejará control proporcional. Este porcentaje se maneja la mitad para arriba del SETPOINT y la mitad para abajo. Como el rango total está definido desde -10°C hasta 1100°C , cada unidad de esta variable equivale a 11.1°C (aproximadamente 5.5 por arriba y por abajo del SETPOINT).
- **KRESET (Constante de RESET).**- Más allá de los datos teóricos del control, en la práctica se ha visto que el control proporcional puede mantener un buen control pero siempre mantendrá un pequeño error constante hacia arriba o abajo del SETPOINT deseado, por lo que se incluye una variable que se suma directamente al valor de la VP antes del proceso de control para corregir este error. Por lo general, este valor se debe encontrar en forma práctica ya que es diferente para cada proceso.
- **KDIFER (Constante Diferencial).**- En el prototipo no se utiliza, es la constante que servirá para indicar al controlador la intensidad con la que se usará el

control diferencial. Es decir es el factor de adelanto en tiempo del efecto de control por modificaciones en la velocidad del cambio del error.

- **KINTEG (Constante integral).**- En el prototipo no se utiliza, servirá para indicar la intensidad del control integral; es decir, el factor de reposición o factor de corrección por permanencia del error.
- **KTIEMP (Constante de Tiempo).**- Es la base de tiempo sobre la cual se maneja el ciclo de control.
- **KBURN (Constante de BURNOUT).**- Es el indicador que señala en caso de error por ruptura o corto del transductor, hacia qué extremo del rango deberá manejarse el controlado: en pocas palabras, si se rompe o quema el termopar, se debe encender o apagar la salida de control.

En modo PROG, se visualizan y modifican las variables en el mismo orden.

Es importante mencionar que la secuencia esta programada en forma circular de tal modo que si se visualiza KBURN y se vuelve a presionar SETUP UP la variable del proceso VP aparecerá en modo RUN y el SETPOINT en modo PROG, lo inverso también es válido.

• BOTONES 6 y 7.- VAL UP y VAL DOWN

El Botón 6 es VAL DOWN y el 7 (a la derecha del 6) es SETUP DOWN. En modo RUN, Permiten visualizar en el display, los valores de VALMAX y VALMIN, es decir, el botón VAL UP presenta el valor máximo al que ha llegado la variable de control y VAL DOWN el mínimo.

En modo PROG, permiten incrementar o decrementar el valor de la variable visualizada.

Cabe recordar que la modificación de las variables es cíclica en los valores; es decir, si por ejemplo los límites de cualquier variable de histéresis son de cero a cien, presionar VAL UP estando en 100.0 renovaría el valor de la variable en 0.0, lo inverso también se cumple con VAL DOWN.

• BOTON 8 .- MODO

Esta tecla intercambia de modo. Sin importar la variable que se visualiza, cuando se pasa de RUN a PROG, aparecerá en display el valor de SETPOINT para ser modificado al mismo tiempo que se apaga el LED verde de RUN y se enciende el rojo de PROG. Cuando se pasa de PROG a RUN, sin importar la variable que se estuviera visualizando, se llamará a la subrutina de autopuebas, así, se asegura la consistencia de los datos antes de comenzar un nuevo proceso de control. Inmediatamente después de ser aprobadas las pruebas, se visualizará el valor actual de la variable del proceso VP y comenzará el control. Como las autopuebas duran tres segundos, el usuario podrá detectar inmediatamente si los datos que introdujo son correctos o debe reprogramar el equipo. Los errores que pueden aparecer en pantalla son ERR2 y ERR3 principalmente.

5.11 Reloj de Seguridad por Modo de Despliegue.

Es común que el operador de un equipo industrial, con la experiencia, pueda detectar alguna anomalía en el proceso con una simple mirada a los controles del equipo, pero si por descuido los indicadores del equipo señalan información incorrecta, el operador puede realizar, o dejar de realizar, actividades vitales para el proceso.

Por tener un solo display para indicar toda la información que posee, el controlador puede ser fuente de confusión ya que, en algún momento dado, el operador puede confundir las variables visualizadas fuera del modo normal como variables del proceso.

Para evitar el abandono del equipo en modo PROG o en modo RUN visualizando una variable que no sea la VP, un temporizador se reprograma cada vez que una tecla es presionada, si esto no sucede en el transcurso de 15 segundos, el regreso a modo RUN a través de autopruebas será automático.

El programa hace un llamado a la rutina "LECTURA" una vez cada ciclo de control. En cada caso, se realiza una lectura al puerto del teclado que, por la arquitectura del sistema, de no tener ninguna tecla presionada presentará un byte FFh, las teclas funcionan mandando a tierra el voltaje del bit correspondiente por lo que presionar el botón 1 equivale a leer un FE, el botón dos equivale a FDh y así sucesivamente.

En cada lectura del puerto, el sistema compara el dato leído contra un byte FFh, si son iguales no hubo lectura, pero de no ser así, se genera un delay como debounce para asegurar que no haya sido simple ruido después del cual se vuelve a leer el puerto, de haber algún dato distinto a FFh, se procede a decodificar.

La decodificación se realiza mediante giros del byte para encontrar el bit que sea cero. Cada bit uno incrementa un contador en tres. Este contador sumado a la dirección de la tabla de brincos TACOM equivale a la dirección del registro donde está almacenada la dirección de la subrutina apropiada según la tecla. Esta tabla de "comandos" simula un brinco indirecto.

Cabe hacer notar que el algoritmo sólo detecta el primer bit cero, por lo que si el usuario presiona más de una tecla al mismo tiempo, sólo se reconocerá la de menor valor equivalente.

5.12 Estado Actual de Despliegue.

Cada variable visualizable, tiene asignado un valor que representa el estado del display en el momento en el que esta se despliega, así, la VP es el modo 0, el SETPOINT es el modo 1 y así sucesivamente. El estado del display es almacenado

en un registro denominado STADISP y puede tener en cada momento uno de los siguientes valores:

00H TEMPERATURA (VP)	01H SETPOINT
02H ALM1SP1	03H ALM1SP1H
04H ALM1SP1T	05H ALM1SP2
06H ALM1SP2H	07H ALM1SP2T
08H ALM2SP	09H ALM2H
0AH ALM2T	0BH KPROP
0CH KRESET	0DH KDIFER
0EH KINTEG	0FH KTIEMP
10H KBURN	11H VALMAX
12H VALMIN	

Cuando la bandera FLMOD0 indica que el sistema está en modo RUN, la secuencia de variables visualizada, sólo puede estar dentro del rango 00h-10h, cuando FLMOD0 indica que el control esta en modo PROG el rango se limita desde 01h hasta 10h. Las variables 11h y 12h sólo pueden verse desde modo RUN al presionar VAL UP y VAL DOWN respectivamente.

El valor de STADISP se utiliza también en la sección de despliegue para seleccionar el LED que debe encenderse.

5.13 Aceleramiento del Teclado.

Como existen variables que tienen un amplio rango de trabajo (por ejemplo el SETPOINT de -10.0 a 1190.0^o) y se modifica de décima en décima, alterar esta variable podría llevar mucho tiempo, por lo que existe un sistema de aceleramiento que se activará solamente si se mantiene presionada la tecla deseada, los primeros cambios se generarán cada seis décimas de segundo, lo que da tiempo suficiente para ver el valor y dejar de presionar si nos acercamos al valor deseado, después de seis segundos, la velocidad se incrementa a un cambio cada décima de segundo, y por último, después de otros seis segundos así, la velocidad se incrementa casi a cien cambios por segundo.

Con este sistema, se puede modificar una variable desde un punto hasta otro muy alejado en menos de 20 segundos, cabe hacer notar que como el rango de las variables es circular, el usuario puede aproximarse al valor deseado por ambos sentidos.

5.14 Botón de Modo.

La secuencia lógica que se ejecuta cada vez que la decodificación del teclado detecta que esta tecla fue presionada es la siguiente:

- 1.-Lee el estado de la bandera FLMOD0, si esta indica Modo RUN, la cambia a modo PROG, en caso de ser modo PROG, pasa al punto 7.
- 2.-Almacena en STADISP un 01h para obligar al controlador a entrar a modo PROG visualizando el SETPOINT.
- 3.-Almacena en CONTLIM (registro contador de límites) la dirección de los límites del SETPOINT.
- 4.-Carga en CONTVAR la dirección del registro SETPOINT.
- 5.-Carga en VARCAMB el valor contenido en el registro apuntado por CONTVAR, es decir SETPOINT.
- 6.-Anula la aceleración del teclado, reseteando la bandera FL2AVEZ y regresa a la secuencia general de la rutina LECTURA del teclado.
- 7.-A este punto sólo se llega si en el paso 1 FLMOD0 estaba en PROG; Se carga el valor de VP en los registros VALMAX y VALMIN.
- 8.-Se resetea el registro STADISP.
- 9.-Se resetea la bandera FLMOD0 para que este en modo RUN.
- 10.-Se resetea la bandera FL2AVEZ, para que no se acelere con esta tecla.
- 11.-Se hace un Respaldo de los datos copiando todo lo almacenado en el bloque de datos 1 al 2.
- 12.-Se reinicializa el programa del controlador para que vuelva a empezar desde las autopruebas.

5.15 Botones de Avance y Retroceso de Variables.

La secuencia lógica que se ejecuta cada vez que la decodificación del teclado detecta que alguna de estas teclas fue presionada es la siguiente:

Nota:

Como esta secuencia se repite para SETUP UP y SETUP DOWN con la única diferencia que una tecla incrementa y la otra decrementa, se explicará la secuencia sólo para SETUP UP, de modo que para conocer la secuencia de SETUP DOWN se puede sustituir las palabras entre corchetes por su inverso directo.

- 1.- Carga el valor del registro STADISP para saber si la variable visualizada es la [última] que el modo permite visualizar, de ser así, pasa al punto 6.
- 2.- [Incrementa] STADISP.
- 3.- Multiplica por cuatro STADISP y suma este dato a TALIMITS para conocer la dirección donde se encuentran los límites de la variable a visualizar. Almacenar este dato en CONTLIM.
- 4.- Almacena en VARCAMB el valor de la variable a visualizar.
- 5.- Resetea la bandera FLAVEZ ya que esta tecla no debe acelerar y regresa a la rutina LECTURA de teclado.
- 6.- A este punto sólo se llega si no se puede [incrementar] STADISP. Dependiendo del modo en el que se encontraba FLMODO, carga en STADISP un [00h o un 01 para visualizar la VP o el SETPOINT] (en SETUP DOWN si está en modo RUN y STADISP = 00, o modo PROG y STADISP = 01, carga STADISP con un 10h).
- 7.- Brinca al punto 3.

5.16 Botones de Incremento y Decremento de Valores.

La secuencia lógica que se ejecuta cada vez que la decodificación del teclado detecta que alguna de estas teclas fue presionada es la siguiente:

Nota:

Como esta secuencia se repite para VAL UP y VAL DOWN con la única diferencia que una tecla incrementa y la otra decrementa, se explicará la secuencia sólo para VAL UP, de modo que para conocer la secuencia de VAL DOWN se puede sustituir las palabras entre corchetes por su inverso directo.

- 1.- Se verifica el modo en FLMODO. Si está en modo PROG pasa al punto 4.
- 2.- Verifica si STADISP indica modo 00h, 11h ó 12h; es decir, VP, VALMAX ó VALMIN, de no ser así, resetea bandera FLAVEZ y regresa a la rutina LECTURA del teclado.
- 3.- Carga en STADISP un [11h o VALMAX] y regresa a la rutina LECTURA del TECLADO.
- 4.- A este punto sólo se llega si el modo es PROG. [Incrementa] el valor almacenado en VARCAMB.
- 5.- Compara el nuevo valor de VARCAMB con el [límite superior] señalado por CONTLIM, si es [menor] el dato sigue dentro de rango por lo que se regresa a la rutina LECTURA del teclado.

- 6.- Carga en VARCAMB el [límite inferior] apuntado por CONTLIM y regresa a la rutina LECTURA de teclado.

CONTLIM se incrementa o decrementa de cuatro en cuatro cada vez que se presiona SETUP UP o SETUP DOWN, inicialmente CONTLIM señala a TALIMITS que es la tabla de límites de cada parámetro. A continuación aparece TALIMITS tal y como aparece en el listado del programa. Nótese que la modificación de estos datos permiten variar los límites que cada variable tiene.

```
TALIMITS: .WORD 0FF9CH      ;-6.0 LIMITE INF SPOINT VAR
           .WORD 2E7CH      ;1190.0 LIMITE SUP SPOINT VAR
           .WORD 0FF9CH      ;-10.0 LIMITE INF ALM1SP1
           .WORD 2EE0H      ;1200.0 LIMITE SUP ALM1SP1
           .WORD 0000H      ;0 LIMITE INF ALM1SP1H
           .WORD 03E8H      ;100.0 LIMITE SUP ALM1SP1H
           .WORD 0FFFFH     ;LIMITE INF ALM1SP1T
           .WORD 0000H      ;LIMITE SUP ALM1SP1T
           .WORD 0FF9CH      ;-10.0 LIMITE INF ALM1SP2
           .WORD 2EE0H      ;1200.0 LIMITE SUP ALM1SP2
           .WORD 0000H      ;0 LIMITE INF ALM1SP2H
           .WORD 03E8H      ;100.0 LIMITE SUP ALM1SP2H
           .WORD 0FFFFH     ;LIMITE INF ALM1SP2T
           .WORD 0000H      ;LIMITE SUP ALM1SP2T
           .WORD 0FF9CH      ;-10.0 LIMITE INF ALM2SP
           .WORD 2EE0H      ;1200.0 LIMITE SUP ALM2SP
           .WORD 0000H      ;0 LIMITE INF ALM2H
           .WORD 03E8H      ;100.0 LIMITE SUP ALM2H
           .WORD 0FFFFH     ;LIMITE INF ALM2T
           .WORD 0000H      ;LIMITE SUP ALM2T
           .WORD 0000H      ;0 LIMITE INF KPROP
           .WORD 03E8H      ;100 % LIMITE SUP KPROP
           .WORD 0FC18H     ;-100.0 LIMITE INF KRESET
           .WORD 03E8H      ;100.0 LIM. SUP. KRESET
```

```

        .WORD 0000H      ;LIMITE INF KDIFER
        .WORD 7FFFH      ;LIMITE SUP KDIFER
        .WORD 0000H      ;LIMITE INF KINTEG
        .WORD 7FFFH      ;LIMITE SUP KINTEG
        .WORD 000AH      ;1.0 LIMITE INF KTIEMP
        .WORD 0708FH     ;180.0 LIMITE SUP KTIEMP
TALIM2: .WORD OFFFFH     ;LIMITE INF KBURN
        .WORD 0000H     ;LIMITE SUP KBURN

```

5.17 Botón de Grabación de Dato.

La secuencia lógica que se ejecuta cada vez que la decodificación del teclado detecta que esta tecla fue presionada es la siguiente:

- 1.- Verifica si FLMODO indica estar en modo RUN o PROG, en el primer caso pasa al punto 4.
- 2.- Copia el valor del registro VARCAMB en la dirección apuntada por CONTVAR encerrado entre los patrones 3Ah y A3h.
- 3.- Resetea la bandera FL2AVEZ pues no se acelera con esta tecla y regresa a la rutina LECTURA del teclado.
- 4.- Copia el valor de VP en VALMAX y VALMIN.
- 5.- Resetea la bandera FL2AVEZ pues no se acelera con esta tecla y regresa a la rutina LECTURA del teclado.

5.18 Conversión Analógico-Digital.

La "lectura" de la variable del proceso es efectuada, como se mencionó anteriormente, en dos partes, la conversión analógico digital se realiza por conteo de pulsos en dos canales del CTC conectados en cascada.

Mediante el hardware descrito en el capítulo 3 en la sección del convertidor analógico digital, se obtiene un número de pulsos proporcional al voltaje V1. El CTC se encarga de contar el número de estos pulsos y el dato se lee de los dos registros en cascada en inverso ya que el conteo se realiza por decrementos a partir de FFFFh.

La primera de las dos fases de la conversión corresponde a la programación del CTC como contador, y a la habilitación del hardware para permitir el conteo. La segunda fase consiste en la lectura de los registros del CTC, y el acondicionamiento del dato leído.

La secuencia de esta rutina se presenta a continuación:

Parte de Lectura

- 1.-Revisa la bandera PRIMVEZ para identificar si es la primera vez que se pasa por esta rutina, de ser así, pasa al punto 3.
- 2.-Revisa el temporizador 5 para verificar si ya pasó el tiempo de lectura, si no ha pasado, termina la subrutina.
- 3.-Reprograma el temporizador 5 para que esta rutina sólo se efectúe cada 3 décimas de segundo.
- 4.-Lee el registro del canal 2 del CTC, lo complementa y almacena en el registro L ya que corresponde al byte menos significativo del dato de la variable leída.
- 5.-Lee el registro del canal 3 del CTC, lo complementa y almacena en el registro H ya que corresponde al byte más significativo del dato de la variable leída.
- 6.-Almacena HL en el registro TEMP AUX para su uso posterior.
- 7.-Lee el registro del canal 0 del CTC, lo complementa y lo almacena en el registro TEMPAMB ya que representa la temperatura ambiente.
- 8.-Hace un llamado a las rutinas de compensación necesarias.

Parte de Programación

- 9.-Resetea los canales cero, dos y tres del CTC.
- 10.-Carga el registro de salida y lo enmascara realizando una operación AND lógica con el byte CFh para mantener intactas todas las salidas menos las del trigger de los capacitores de conversión. Estas se mandan a tierra para que los transistores del circuito de conversión se pongan en corte y permitan que los capacitores que generan la rampa se descarguen.
- 11.-Reprograma los tres canales del CTC como contadores sin interrupción cargando en sus registros de control un byte 55h
- 12.-Carga la constante FFh en los tres canales del CTC para que el conteo se realice (recordar que el conteo es descendente).
- 13.-Carga el registro de salida y lo enmascara realizando una operación OR lógica con el byte 30h para mantener intactas todas las salidas menos las del trigger de los capacitores de conversión. Estas se mandan a uno lógico para que los transistores del circuito de conversión se pongan en saturación y permitan que los capacitores que generan la rampa comiencen a cargarse, con esto empieza también el conteo de pulsos. Retorno al programa principal.

Es importante hacer notar que esta rutina tiene un filtro a la entrada que no permite su acceso mas que una vez cada tres décimas de segundo, esto se hace por dos motivos: para asegurar que le de tiempo al convertidor de contar todos los pulsos que cada ciclo debe tener y para evitar que la lectura sea inestable. Una explicación más detallada de esto se puede leer en el capítulo III en la sección de "Adquisición de Datos".

Un filtro adicional es el que impide el acceso a la fase de lectura la primera vez que se pasa por esta rutina, esto se diseñó con el objeto de evitar que la primera lectura proporcione un dato erroneo al controlador, por lo general este sería un número fuera del rango y mandaría al controlador a un loop de error.

5.19 Control.

La rutina CONTROL, es la sección donde se realizan los cálculos relacionados con el tiempo que deberá permanecer encendido y apagado el relevador de control del sistema. Los cálculos se realizan tomando como referencia los datos preprogramados, los datos calculados en la última sección de las autopruebas y el valor actual de la VP.

La secuencia de esta rutina es la siguiente:

- 1.- Suma de la variable del proceso compensada (TEMPER) con el valor de la constante KRESET para que el control se realice sobre el dato corregido. El dato se almacena en TEMPER2 que es la variable que se usará a partir de aquí para los cálculos de control.
- 2.- Se resta TEMPER2 - SETPOINT, el dato se almacena en el registro ERROR.
- 3.- Se verifica si TEMPER2 está más abajo de CTRLPMIN (Punto mínimo de control proporcional) , de ser así la salida deberá estar siempre en ON, por lo que pasa al punto 9.
- 4.- Se verifica si TEMPER2 está más arriba de CTRLPMAX (Punto máximo de control proporcional) , de ser así la salida deberá estar siempre en OFF, por lo que pasa al punto 10.
- 5.- Si llega a este punto es porque la VP está dentro del rango de control proporcional, verifica el signo de la variable ERROR, si este es positivo pasa al punto 7.
- 6.- Complementa el dato de ERROR llamando a la subrutina COMPLEM y prende la bandera FLSIGNER para indicar que el error es negativo. Pasa al punto 8.
- 7.- Apaga la bandera FLSIGNER para indicar que el error es positivo.
- 8.- Se realiza la operación:

$$KTIEMP/2 (+) KTIEMP/2*(ERROR/GRPROP)$$

La división ERROR/GRPROP puede ser un valor cualquiera entre -1 y 1 , como el sistema no maneja decimales, se multiplica primero el error por 100h aumentando una palabra de 16 ceros a la derecha del dato. Al dividir vuelve a quedar una variable de 16 bits, esta palabra se multiplica por KTIEMP recorrido a la derecha una vez (dividido entre dos) quedando de nuevo una palabra de 32 bits. Ignorando los dieciseis bits menos significativos este dato se le suma o resta (dependiendo de FLSIGNER) a KTIEMP de nuevo recorrido a la derecha una vez. Este resultado es un indicador en decimas de segundo del tiempo que debe permanecer encendido el relevador de salida. Para una explicación más completa de esta operación, véase el capítulo IV referente a teoría de control. El dato obtenido se almacena en la variable TTT. Termina la rutina de control.

- 9.- A este punto se llega si la salida de control debe permanecer siempre encendida, por lo que se carga en TTT el mismo valor de KTIEMP y se sale de la rutina.
- 10.- A este punto se llega si la salida de control debe permanecer siempre apagada, por lo que se carga en TTT una cadena de ceros y se sale de la rutina.

5.20 Manejo de Alarmas.

El manejo de las alarmas se realiza en forma independiente para cada una de ellas. Como la alarma 1 tiene dos setpoints, la revisión de esta se hace en dos partes pero en forma más sencilla que la revisión de la alarma 2, esto se debe a que cada uno de los setpoints de la primera alarma están restringidos a trabajar arriba o abajo del setpoint de control y sus histéresis siempre son hacia el mismo sentido. La alarma dos puede tener el setpoint en cualquier punto y se debe revisar la histéresis para ambos lados.

Para simplificar la explicación del funcionamiento de estas rutinas, se describe a continuación únicamente la rutina de la alarma 2 por ser la más extensa, el funcionamiento de las revisiones de los setpoints de la otra alarma, se realiza igual pero en un sólo sentido por setpoint.

- 1.- Revisa ALM2T para verificar si la alarma 2 está encendida, si no lo está, termina la rutina pasando al punto 10.
- 2.- Carga en HL el valor de la VP
- 3.- Carga en DE el valor del Setpoint de la alarma 2 (ALM2SP)
- 4.- Revisa la bandera indicadora FLSTATD (bit 7) para conocer si ALM2SP está por debajo o por encima del SETPOINT, si es superior pasa al punto 6.
- 5.- Intercambia HL con DE.
- 6.- Resta HL - DE y checa el signo, si es negativo o la resta fue cero la alarma debe encenderse por lo que pasa al punto 9.

- 7.- Revisa el estado actual de la alarma, si está apagada, seguirá apagada, por lo que sale de la rutina pasando por el punto 10.
- 8.- Carga en DE el valor de la histéresis y la resta del contenido actual de HL (resta de VP y ALM2SP) si el resultado es positivo, la alarma está apagada y fuera de histéresis por lo que sale de la subrutina pasando por el punto 10.
- 9.- Si la secuencia llegó hasta aquí es porque la alarma 2 debe estar encendida, carga en el acumulador el registro FLSALIDA, se prende el bit 3 que equivale a encender la alarma 2 y almacena de nuevo el registro. También se realiza la operación OR lógica entre FLSTATD y la constante 10h, para encender el LED del display equivalente a la alarma 2. Al terminar esto sale de la subrutina.
- 10.- Si la secuencia llegó hasta este punto es porque la alarma 2 debe estar apagada, carga en el acumulador el registro FLSALIDA, se resetea el bit 3 que equivale a apagar la alarma 2 y almacena de nuevo el registro. También se realiza la operación AND lógica entre FLSTATD y la constante EFh, para apagar el LED del display equivalente a la alarma 2. Al terminar esto, sale de la subrutina.

5.21 Salida de Datos.

El control de la salida de datos es la sección que verifica, a partir de los datos generados en las rutinas de control, el momento en el que debe encenderse y apagarse el relevador de control. Al mandar al puerto de salida este dato, actualiza también los estados de los relevadores de las alarmas.

La secuencia de esta rutina se describe a continuación:

- 1.- Revisa el estado actual de la salida, si está apagada brinca al punto 5 para revisar si ya es tiempo de encender.
- 2.- Revisa el temporizador 4 (tiempo de apagar), si ya está en ceros implica que se cumplió el tiempo de encendido y se debe apagar la salida, se pasa al punto 4.
- 3.- Prende el bit 2 de FLSALIDA para mantener encendida la salida de control y manda este byte al puerto RELAYS. Sale de la subrutina.
- 4.- Resetea el bit 2 de FLSALIDA para apagar la salida de control y manda este byte al puerto RELAYS. sale de la subrutina.
- 5.- Verifica el tiempo de encender en el temporizador 3, de ya haberse cumplido pasa al punto 6 para reprogramar los temporizadores. En otro caso brinca al punto 4.
- 6.- Carga en HL la variable KTIEMP, carga en el acumulador un 03h. LLama a la subrutina PROCRON para reprogramar el temporizador 3 con el tiempo del ciclo de trabajo.

- 7.- Carga en HL la variable TTT, carga en el acumulador un 04h. llama a la subrutina PROCRON para reprogramar el temporizador 4 con el tiempo calculado del por ciento del ciclo encendido. Termina la rutina.

5.22 La Rutina del Watchdog.

La rutina WATCHA, es llamada en múltiples ocasiones desde diversas secciones del programa para evitar que el circuito del watchdog reinicialice el programa del controlador. La rutina tiene la siguiente secuencia:

- 1.- Manda el contenido del acumulador al stack para que no se afecte lo que se hacía anteriormente.
- 2.-Carga el estado de la salida FLSALIDA y lo enmascara con una operación XOR lógica con un byte 01h de tal modo que mantiene toda la información igual menos el bit correspondiente al reset del watchdog, este bit se invierte.
- 3.-Almacena el dato.
- 4.-Manda el dato al puerto de salida.
- 5.-Regresa el valor del acumulador almacenado en el stack a su registro y termina la subrutina.

Es de notar que esta rutina actúa diferente en ocasiones sucesivas ya que en la primera prende el bit del watchdog y en la segunda lo apaga.

5.23 Asignación de Valores Máximo y Mínimo.

El controlador tiene la innovación de permitir visualizar en el momento que se desee, el valor máximo y mínimo alcanzado por la VP desde que se encendió el equipo, se reprogramó o se reseteó. La asignación de estos valores se realiza dentro de la rutina ASIGNVAL cuya secuencia es la siguiente:

- 1.- Verifica si es la primera vez que pasa por esta rutina, de ser así, implica que no se ha almacenado nunca información en los registros VALMAX y VALMIN, se lee el valor de la VP actual y se almacena en estos registros, resetea la bandera de primera vez. Regreso al programa principal.
- 2.- Lee el valor de la VP y lo compara con VALMAX, si $VP > VALMAX$ se almacena VP en VALMAX y se termina la rutina.
- 3.- Lee el valor de la VP y lo compara con VALMIN, si $VP < VALMIN$ se almacena VP en VALMIN y se termina la rutina.

5.24 Subrutinas Auxiliares.

En esta sección se hace mención de algunas subrutinas implementadas en el programa del controlador, que no son llamadas desde el programa principal sino desde alguna de las subrutinas, pero que son por sí mismas independientes.

Las subrutinas auxiliares son usadas principalmente para realizar operaciones lógicas o matemáticas que son necesarias en diferentes partes del programa. Las subrutinas auxiliares más importantes son las de multiplicación, división y multiplicación fraccionaria.

Quizá la principal desventaja en rutinas de control del microprocesador Z80 al compararse contra otros microprocesadores, es la de no poseer instrucciones internas para multiplicar y dividir. Fue necesario implementar estas operaciones ya que el control proporcional y más adelante el PID las requieren.

La Subrutina MULTIP no es una multiplicación sencilla ya que debe tener la capacidad de multiplicar dos palabras de 16 bits cada una, el resultado puede llegar a ser de 32 bits y el manejo de un dato de este tamaño no es fácil en un microprocesador de 8 bits como el Z80.

La subrutina DIVIDE, debe poder dividir un dato de 32 bits entre uno de 16 bits logrando un resultado de 16.

Dada la lentitud de estas subrutinas, se procura no utilizarlas más que cuando la operación es entre dos variables. Cuando se inicializan las variables de control, se deben realizar ciertas operaciones que implican la multiplicación y división de una variable por una constante, en estos casos, la operación se hace más eficiente mediante los giros, sumas y restas, en forma directa.

La rutina FRMUL, es una operación que multiplica datos de 16 bits con fracciones propias de 16 bits. Las fracciones se representan en datos de 16 bits pero considerando que el punto "binario" está hasta la izquierda, de tal modo que la palabra 8000h representa en decimal 1/2, la palabra 4000h es 1/4, 2000h es 1/8 y así sucesivamente; las combinaciones son permitidas: E000h es 7/8. La rutina FRMUL se utiliza en la sección de compensación de la VP cuando este se hace por firmware ya que la linealización del dato de entrada se hace multiplicando por una fracción. Es importante remarcar que en el prototipo no se utiliza esta subrutina y por este mismo motivo no se explica con mayor detalle.

5.25 La Multiplicación.

La multiplicación se realiza bajo la suposición de que en la rutina que la llamó se colocó previamente el valor del multiplicador en HL y en IX la dirección

donde está almacenado el multiplicando; además, el resultado quedará almacenado en la dirección que apunta IY y los tres registros siguientes.

La operación de multiplicación se realiza girando el multiplicando y verificando el carry, cada vez que el carry resulta uno, se suma el valor girado al resultado parcial, cuando es cero, no se realiza la suma pero se mantiene el giro para asegurar que no se pierda la secuencia. Esta operación se hace más compleja cuando se trabaja con 16 bits ya que el resultado aparece como un número de cuatro bytes. Al realizar las sumas, se debe considerar que el almacenamiento se debe hacer por partes en los cuatro bytes, la secuencia general, aunque muy repetitiva, tiene sus variantes que le impiden repetir toda la secuencia para cada caso, esto implica una programación muy larga con las consecuencias obvias de lentitud y espacio de memoria.

A continuación se presenta un listado de la subrutina de la multiplicación tal y como aparece en el firmware.

```

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;SUBRUT. DE MULTIPLICACION DE DOS VARIABLES DE 16BITES C/U;;
;; EN HL EL MULTIPLICADOR Y EN (IX) LA DIRECC DONDE ESTA  ;;
;; ALMACENDO EL MULTIPLICANDO, EL RESULTADO SE          ;;
;; ALMACENA EN (IY ),(IY+1) ,(IY+2) E (IY+3),           ;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
MULTIP: LD B,07H    ;CANTIDAD DE BITS A CHECAR
        PUSH HL    ;GUARDA EL VAL DEL MULTIPLICADOR
        LD E,(IX+0);CARGA BYTE BAJO DEL MULTIPLICANDO
        XOR A      ;LIMPIA REGISTROS DE RESULTADO
        LD (IY+0),A
        LD (IY+1),A
        LD (IY+2),A
        LD (IY+3),A
        LD H,A     ;TRABAJAR SOLO CON L
        LD D,A     ;TRABAJA SOLO CON E
MULTIP2: SCF
        CCF
        SRL L     ;GIRA LOS REGISTROS HL CON CARRY

```

```

JR NC,MULTIP3;SI NO HAY CARRY (UNO) SALTA A OTRO
CCF          ;VUELVE A APAGAR EL CARRY
PUSH HL     ;GUARDA EL MULTIPLICADOR SE NECESITA HL
LD H,(IY+1);SUMAR EL VAL RECORRIDO A LA SUMA DE LOS
LD L,(IY+0);VALORES RECORRIDOS ANTERIORES
ADC HL,DE
LD (IY+0),L
LD (IY+1),H
POP HL     ;RECUPERA MULTIPLICADOR
SLA E     ;RECORRE EL BYTE BAJO
RL D      ;RECORRE D Y CARRY
DJNZ MULTIP2
JR MULTIP4

MULTIP3: SCF
CCF
SLA E
RL D
DJNZ MULTIP2 ;TODOS LOS BITS

MULTIP4: LD B,07H ;GENERA NUEVA CUENTA
POP HL     ;RECUPERA EL VALOR DEL MULTIPLICADOR
PUSH HL   ;VUELVE A HACER BACKUP
LD E,(IX+1);CARGA AHORA EL BYTE ALTO
XOR A
LD D,A    ;TRABAJAR CON E SOLO
LD H,A    ;TRABAJAR CON L SOLO

MULTIP5: SCF
CCF
SRL L     ;GIRA LOS REGISTROS HL CON CARRY
JR NC,MULTIP6 ;SI NO HAY CARRY (UNO) SALTA A OTRO
CCF      ;VUELVE A APAGAR EL CARRY

```

```

PUSH HL ;GUARDA EL MULTIPLICADOR SE NECESITA HL
LD H,(IY+2);SUMAR EL VAL RECORRIDO A LA SUMA DE LOS
LD L,(IY+1);VALORES RECORRIDOS ANTERIORES
ADC HL,DE
LD (IY+1),L
LD (IY+2),H
POP HL ;RECUPERA MULTIPLICADOR
SLA E ;RECORRE EL BYTE BAJO
RL D ;RECORRE D Y CARRY
DJNZ MULTIP5
JR MULTIP7

```

MULTIP6: SCF

```

CCF
SLA E
RL D
DJNZ MULTIP5 ;TODOS LOS BITS

```

MULTIP7: LD B,07H ;GENERA NUEVA CUENTA

```

POP HL ;RECUPERA EL VALOR DEL MULTIPLICADOR
PUSH HL ;VUELVE A HACER BACKUP
LD E,(IX+0);CARGA AHORA EL BYTE BAJO
LD L,H ;PERO CON EL BYTE ALTO DEL MULTIPLICADOR
XOR A
LD D,A ;TRABAJAR CON E SOLO
LD H,A ;TRABAJAR CON L SOLO

```

MULTIP8: SCF

```

CCF
SRL L ;GIRA LOS REGISTROS HL CON CARRY
JR NC,MULTIP9;SI NO HAY CARRY (UNO) SALTA A OTRO
CCF ;VUELVE A APAGAR EL CARRY
PUSH HL ;GUARDA EL MULTIPLICADOR SE NECESITA HL

```

```

LD H, (IY+2);SUMAR EL VAL RECORRIDO A LA SUMA DE LOS
LD L, (IY+1);VALORES RECORRIDOS ANTERIORES
ADC HL,DE
LD (IY+1),L
LD (IY+2),H
POP HL ;RECUPERA MULTIPLICADOR
SLA E ;RECORRE EL BYTE BAJO
RL D ;RECORRE D Y CARRY
DJNZ MULTIP8
JR MULTIPA

```

MULTIP9: SCF

```

CCF
SLA E
RL D
DJNZ MULTIP8;TODOS LOS BITS

```

MULTIPA: LD B,07H ;GENERA NUEVA CUENTA

```

POP HL ;RECUPERA EL VALOR DEL MULTIPLICADOR
PUSH HL ;VUELVE A HACER BACKUP
LD L,H ;USA EL BYTE ALTO DEL MULTIPLICADOR
LD E,(IX+1);CARGA AHORA EL BYTE ALTO
XOR A
LD D,A ;TRABAJAR CON E SOLO
LD H,A ;TRABAJAR CON L SOLO

```

MULTIPB: SCF

```

CCF
SRL L ;GIRA LOS REGISTROS HL CON CARRY
JR NC,MULTIPC;SI NO HAY CARRY (UNO) SALTA A OTRO
CCF ;VUELVE A APAGAR EL CARRY
PUSH HL ;GUARDA EL MULTIPLICADOR SE NECESITA HL
LD H,(IY+3);SUMAR EL VAL RECORRIDO A LA SUMA DE LOS

```

```

LD L, (IY+2); VALORES RECORRIDOS ANTERIORES
ADC HL, DE
LD (IY+2), L
LD (IY+3), H
POP HL ; RECUPERA MULTIPLICADOR
SLA E ; RECORRE EL BYTE BAJO
RL D ; RECORRE D Y CARRY
DJNZ MULTIPB
JR MULTIPD .

MULTIPC: SCF
CCF
SLA E
RL D
DJNZ MULTIPB; TODOS LOS BITS

MULTIPD: POP HL ; QUITA EL ULTIMO BACKUP
RET

```

5.26 La División.

La subrutina de la división supone que en HL se encuentra el valor del divisor y en IX la dirección donde está el dividendo. El resultado se almacena en la dirección apuntada por IY.

Es importante remarcar que esta operación cuida que no aparezcan fracciones al dividir perdiendo así resolución, esto lo logra multiplicando primero el dividendo por 256, aumentándole dos bytes en ceros a la derecha.

La primera actividad que realiza esta subrutina es la de acomodar los bytes ya que el algoritmo realiza la operación en forma secuencial considerando el MSB el de más a la derecha y los datos los recoge alrevés.

La operación de división funciona en modo inverso a la multiplicación, al ir girando el divisor, se realizan operaciones de resta en lugar de suma de modo que el resultado queda de menor tamaño. Al igual que en la multiplicación, la secuencia se complica al tener que realizar la resta por partes en un número que ocupa varios registros.

Para una mejor comprensión de esta subrutina se lista a continuación tal y como aparece en el firmware.

```

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;SUBRUT.DE DIVISION, TOMA EN HL EL DIVISOR Y EN (IX) EL ;;
;;DIVIDENDO, HACE UNA MULTIPLIC. DIRECTA POR 256 DEL DIVI-;;
;;DENDO PARA QUE ESTE TENGA 32 BITS Y SEA NO FRACCIONARIO,;;
;;LO LOGRA AUMENTANDO 2 BYTES DE CEROS A LA DER. DEL DIVI-;;
;;DENDO.LA SALIDA SE GUARDA EN (IY) CON 16 BITS ;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
DIVISION: LD BC,8000H ;CARGA EL PATRON

```

```

    PUSH IX      ;PREPARA PARA DIVIDIR
    LD A,(IX+0) ;REACOMODA LOS CUATRO BYTES
    LD (DIVIDEND+3),A
    LD A,(IX+1) ;REACOMODA LOS CUATRO BYTES
    LD (DIVIDEND+2),A
    LD A,(IX+2) ;REACOMODA LOS CUATRO BYTES
    LD (DIVIDEND+1),A
    LD A,(IX+3) ;REACOMODA LOS CUATRO BYTES
    LD (DIVIDEND+0),A
    LD IX,DIVIDEND ;APUNTA AL DIVIDENDO
    PUSH IY      ;GUARDAR APUNTADOR
    LD (IY+0),A ;LIMPIA REGISTROS DONDE
    LD (IY+1),A ;QUEDARA EL RESULTADO.
DIVID1: SCF
CCF
    PUSH HL      ;GUARDA DIVISOR
    LD A,(IX+3) ;CARGA ULTIMO BYTE DIVIDENDO
    RLA          ;GIRA A LA IZQUIERDA
    LD (IX+3),A ;GUARDA EL DATO
    LD A,(IX+2) ;CARGA PENULTIMO BYTE

```

```

RLA
LD (IX+2),A
LD A,(IX+1) ;CARGA SEGUNDO BYTE
RLA
LD (IX+1),A
LD E,A
LD A,(IX+0) ;CARGA PRIMER BYTE
RLA
LD (IX+0),A
LD D,A ;SE PREPARA PARA COMPARAR
SCF
CCF
EX DE,HL ;INTERCAMBIA PARA RESTA
SBC HL,DE ;REALIZA LA RESTA
JP M,PONECERO;SI ES - NO PONE UN 1
PONEUNO: LD (IX+1),L ;GURADA LA RESTA COMO EL DIVIDENDO
LD (IX+0),H ;MSB PRIMERO
LD A,(IX+1) ;CARGA EL MSBYTE DEL RESULT
OR B ;AUMENTA UN UNO
LD (IX+1),A ;GUARDA EL DATO
LD A,(IX+0)
OR C
LD (IX+0),A
PONECERO:POP HL ;REGRESA EL DIVISOR
SRL B ;RECORRE PATRON
RR C ;TERMINA SI EL
JR NC,DIVIDI;PATRON SALE AL CARRY
POP IX
POP IX
RET

```

5.27 Bibliografía.

- BEITMAN, G. Material para el Curso de Microprocesadores. Dpto. Cómputo. ITAM 1985.
- BIBBERO, R.J. Microprocessors in Instruments and Control. USA John Wiley & Sons, 1977.
- BURDEN R., FAIRES D. Numerical Analysis, Ed. Wadsworth International USA 1981.
- DESHPANDE, P. BASH, R.H. Elements of Computer Process Control With Advanced Control Applications. USA, Instrument Society of America 1981.
- JOHNSTON R.L. Numerical Methods, A Software Approach. John Wiley 7 Son. Canada, 1982.
- NICHOLS, RONY. Programación del Microprocesador Z80 CPU. 1984, Ed. Marcombo, 2a. Ed Barcelona.
- TEDESCHI, F. COHEN, R. 101 Projects for the Z80. 1a ed. TAB Books 1983.
- The TMPZ Microprocessors Family Data Book, Toshiba 1989. USA
- The Z80-CPU Manual, Zilog 1977
- Starter Kit Guía del Usuario, Micro Calli 1988 México

CAPITULO 6.

APLICACIONES,

SIMULACION Y RESULTADOS.

6.1 Introducción.

El Controlador implementado en este proyecto, se diseñó para utilizarse indistintamente en diferentes situaciones y para procesos variados; por este motivo, los equipos comerciales ya existentes que se asemejan al sistema diseñado se les llama UDC (Universal Digital Controllers).

Como se explicó en el primer capítulo, las variables susceptibles de controlarse son muchas, pero una de las más comunes es la temperatura ya que esta interfiere directamente en la mayoría de los procesos.

Este capítulo presenta un análisis de diversas aplicaciones para el proyecto, pero se hace hincapié en el control de temperatura. A mucha gente le ha dado por llamar a esta época como la era del plástico y las computadoras; por eso se eligió al proceso de extrusión de plástico poliestireno como ejemplo específico sobre el cual se hizo la simulación y pruebas del equipo.

Los resultados que se documentan fueron obtenidos en las diferentes pruebas realizadas previas a la simulación y en la simulación misma. Las conclusiones referidas a esos resultados no evalúan el desarrollo del proyecto sino la aplicabilidad del mismo en el control de un proceso industrial como el descrito.

6.2 Aplicación del Sistema Diseñado.

El equipo diseñado, como gran parte de los nuevos instrumentos de control digital, tiene suficiente flexibilidad como para poderse aplicar en casi todos los procesos industriales. Entre las aplicaciones más comunes sobresalen aquellas cuya variable a controlar pueda ser medida mediante transductores eléctricos y manipulada por switcheo de relevador, por ejemplo: Control de temperatura, flujo, presión, etc.

El transductor que se utilice deberá ser lineal y proporcionar una señal de 10mV/unidad. De no cumplir con estas características deberá incluirse una fase de acoplamiento entre el transductor y la entrada del circuito.

Como se mencionó previamente, la variable que con mayor frecuencia se controla con equipos como este, es la temperatura, la justificación se discute en el capítulo 1.

Durante la simulación del control de temperatura del proceso industrial, se utilizó un termopar tipo "J" con un rango permisible de cero a 760C. Este sensor fue el mismo con el que se hicieron las pruebas previas y la calibración del dispositivo. El termopar se "fabricó" en forma manual mediante la unión con soldadura de las dos puntas de un alambre para extensión de termopar. Esto es totalmente válido según se documenta en el segundo capítulo de este texto.

Las pruebas para equipos industriales como el que se diseñó, están fundamentadas sobre el principio de que cualquier nave industrial donde se pudiera instalar el controlador, es un ambiente hostil, y de no aprobarlas, tampoco resistirá el trabajo cotidiano.

Las pruebas realizadas son comunes para los equipos industriales y procuran medir la precisión de los datos en situaciones extremas y la resistencia del equipo en condiciones adversas, estas pruebas se listan a continuación y sus resultados se describen en este mismo capítulo en otra sección.

- **Pruebas de Drift.-** La temperatura ambiente dentro de la que se encuentra sumergido el equipo, no debe ser un factor que afecte la lectura y el control. En la prueba que se realizó se introdujo el controlador dentro de un sistema de temperatura variable, mientras que la punta caliente del termopar se mantuvo a temperatura constante. Teóricamente el display no debería presentar cambios, el error encontrado se mide en ppm (partes por millón). Se consideraron temperaturas extremas de ambientes industriales desde 0 hasta 40°C.

Es importante recordar que el termopar sólo mide diferencias de temperatura entre su punta fría y su punta caliente. El equipo debe compensar el cambio de la temperatura ambiente automáticamente y no mostrar variaciones ya que en la prueba la temperatura cambiante es la ambiental y no la del proceso a controlar. Los fabricantes de equipos como el diseñado han establecido dos normas dentro de las cuales se debe poder clasificar cualquier dispositivo; la norma estándar, que restringe el rango libre de error por drift entre 0°C y 40°C, y la norma militar, cuyo rango es mayor (de -10°C a 70°C).

- **Prueba de distancia.-** La medición de la temperatura debe ser la misma con el mismo tipo de termopar sin importar la longitud del cable de termopar, los estándares indican que un cable de termopar de hasta 20 metros de longitud no debe representar problemas para la lectura. Normalmente el termopar se instala en un punto distante del tablero donde se instala el controlador, pero de ser necesarios más de 20 metros de cable termopar se acostumbra instalar controladores remotos.
- **Prueba de linealidad.-** Manteniendo la temperatura ambiente constante, se hicieron mediciones dentro del rango permitido del termopar comparándolas con la de una referencia supuestamente exacta (un termómetro de mercurio). Se indican los

errores en ppm referido al rango completo. El termómetro de mercurio utilizado fue el mismo que se usó para la calibración original.

Como un dato importante, se menciona que después de varias pruebas con diferentes termómetros se detectó que aún siendo todos de mercurio, su respuesta no era la misma en puntos térmicos iguales; es decir, aún con termómetros del mismo rango y de la misma marca la respuesta no tiene la misma curva. Por este motivo se decidió el uso de una sola referencia para todas las operaciones de calibración y pruebas, si la respuesta de la referencia seleccionada no es lineal como el fabricante asegura, la recalibración a una nueva referencia será sencilla y el error existente por tal motivo será constante. De no haber tomado esta decisión, aparecería en toda lectura un error inherente a la referencia misma.

- **Tiempo Promedio Entre Fallas.**- Dejando el equipo funcionando por un período largo, se verifica la cantidad de veces que se presentan errores. Esta prueba se conoce como (MTBF) por sus iniciales del inglés. Es importante remarcar que esta prueba es totalmente subjetiva ya que para poder tener un registro constante de posibles errores sería necesario estar al cuidado del equipo constantemente hasta que la falla se presente y repetir este proceso por lo menos veinticinco veces. El prototipo fue armado sobre un armazón diferente al que originalmente llevará y esto puede representar un MTBF diferente. Sin embargo, una prueba de este tipo puede permitir detectar cambios en la lectura por calentamiento del equipo o por fenómenos no previstos.

Algunas pruebas no se pudieron llevar a cabo sobre el prototipo porque requieren la existencia del chasis, son pruebas de carácter destructivo o no se tienen los medios para realizarlas, entre estas se podría destacar las siguientes:

- **Voltajes Máximos y Mínimos de Trabajo.**- Se trata de aplicar un voltaje variable en la línea y verificar el rango dentro del cual el equipo funciona correctamente. En virtud de que el equipo cuenta, por una parte, con dos fusibles; y por otra, con regulación de voltaje, se espera que el VMIMT esté en un rango del 10% por arriba y abajo del voltaje nominal.
- **Humedad Máxima sin Condensación.**- dentro de una cámara cerrada con ambiente controlado, se mide la humedad relativa a la que se puede trabajar sin que el equipo sufra daños o la lectura sea errónea. Por ser un equipo de estado sólido, se supone esta prueba mostraría la capacidad de soportar un porcentaje elevado de humedad, siempre y cuando las condiciones no causen condensación ya que esto aceleraría la corrosión y reduciría la vida útil de los circuitos integrados.
- **Presión Máxima.** - Se busca conocer el rango de presión atmosférica dentro del cual el dispositivo funciona sin problemas. Para realizar esta prueba es necesario tener una cámara de ambiente controlado. Por ser un equipo de estado sólido, se espera que la presión máxima que pueda soportar sea la misma que soportan cada uno de sus componentes y que el fabricante menciona en las especificaciones.
- **Resistencia a la Vibración.**- Ya que el equipo se instalará en un lugar donde existan motores y maquinarias en gener, es lógico suponer que la exposición a vibraciones

fuertes y prolongadas podrá ser la causa de fallas. Este parámetro deberá indicar no sólo la aceleración de la vibración máxima permisible, sino que también la duración de esta. La prueba consiste en asegurar al dispositivo sobre un equipo donde un sistema de motores proporcionan una vibración cuya aceleración es controlada y mensurable, las pruebas se realizan en forma incremental tanto en tiempo como en magnitud hasta que se presenta alguna falla en el equipo. Por lo general, este dato se indica en fracciones o múltiplos de la gravedad durante tantos segundos o minutos. Esta prueba es también muy utilizada en la investigación de resistencia de materiales para construcción.

6.3 Simulación de un Proceso de Extrusión de Poliestireno.

Con la intención de verificar el buen funcionamiento del controlador, se realizó una simulación de un proceso industrial. De entre los procesos industriales modernos que encontramos en nuestro país, destacan: la industria petroquímica, la metalmecánica, la cementera y la textil entre otras.

En la industria metalmecánica el control de temperatura se realiza dentro de rangos muy elevados que dificultan su simulación, la industria cementera y la textil requieren controles de temperatura relativamente simples y el acceso a información es bastante restringido. La extrusión del plástico resulta ser muy común y fácil de describir, su control de temperatura, aunque complejo, está limitado a rangos fáciles de simular. Por este motivo, este tipo de proceso fue el elegido para simulación.

Una investigación con fines didácticos se llevó a cabo en torno al tema de la extrusión de poliestireno, cabe recalcar que esta investigación se centró principalmente en los datos técnicos del poliestireno y en la descripción del proceso mismo. La información encontrada se presenta a continuación:

6.4 El Poliestireno.

Es una resina termoplástica conocida también como poliesterol, se obtiene por polimerización del estireno o esterol. Esta reacción se produce con gran desarrollo de calor que debe sustraerse para poder controlar la marcha de la misma.

La polimerización del estireno se realiza por todos los medios empleados usualmente en la industria: en masa, en solución, en suspensión o en emulsión. La elección del método viene determinada, aparte de las características del producto final, por factores económicos. El estireno utilizado como primera materia debe poseer un alto grado de pureza, ya que las impurezas permanecen en el polímero, perjudicando su resistencia a la luz y al calor; también alteran sus propiedades eléctricas.

A la polimerización puede seguir la coloración, realizable de dos maneras: mezclando el colorante con el polímero y sometiénolo por tanto a la extrusión, enfriamiento y corte, o bien preparando una mezcla de colorante con pequeñas cantidades del polímero que se añaden al resto del mismo en estado de fusión. Las materias colorantes empleadas son colorantes orgánicos que se disuelven en caliente en el poliestireno cuando las tintas son transparentes; y compuestos inorgánicos o lacas, para las tintas opacas.

El poliestireno comercial es un producto termoplástico, inodoro, límpido, dotado de óptima transparencia y elevado índice de refracción, se reblandece entre los 95°C y los 100 °C y se vuelve líquido viscoso a unos 185°C.

Los productos comerciales para estampación tienen, en general, pesos moleculares de 200,000 y los polímeros de peso molecular inferior (alrededor de 35,000) encuentran aplicación como ligantes o para revestimientos superficiales.

Las propiedades más útiles del poliestireno son:

- Reducido peso específico.
- Facilidad de trabajo.
- Estabilidad de dimensiones en frío y hasta 70°C.
- Posibilidad de ser coloreado con cualquier tinte transparente, opaco o translúcido.
- Baja absorción del agua.
- Resistencia a los agentes químicos.
- Buenas propiedades eléctricas (constantes al variar la temperatura y frecuencia).

Características negativas son:

- Fragilidad.
- Bajo punto de reblandecimiento.
- Inflamabilidad.
- Solubilidad en los hidrocarburos aromáticos, en los solventes clorados y en muchos ésteres y cetonas.
- Facilidad con la que se recubre de polvo.
- Escasa resistencia a los rayos ultravioleta (este es el motivo por el que no es apto en aplicaciones a la intemperie).

Para mejorar estas características se producen diversos poliestirenos modificados, en los cuales se varían las condiciones de producción y añaden sustancias modificantes.

El poliestireno se encuentra comercialmente en diversas formas, adaptadas a sus diversas aplicaciones; la forma cuantitativamente más importante es la de polvo para estampación. El trabajo se ejecuta principalmente por estampación a inyección;

por este procedimiento se construyen partes de frigoríficos y electrodomésticos, muebles y piezas de radio, objetos para el hogar, juguetes, embalajes, aparatos eléctricos, etc. Por extrusión se producen placas para moldeo en vacío, perfiles y películas delgadísimas (hasta de 1/100 de mm); por extrusión y estirado se obtienen monofilamentos de fibras orientadas, dotados de buena resistencia y flexibilidad. además, el poliestireno puede trabajarse por soplado y por compresión pudiendo también hilarse para obtener fibras textiles. Finalmente puede ser expandido en espumas rígidas con estructura de células cerradas de bajo peso específico (0.016 a 0.25 g/cm²), que encuentran aplicación en los aislamientos térmicos, acústicos o eléctricos.

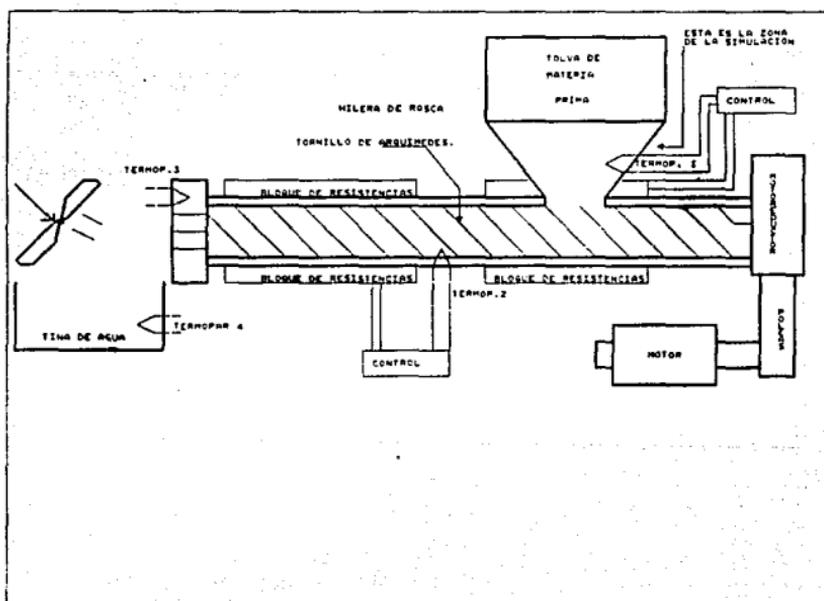


Figura 24.

6.5 La Extrusión y el Granulado.

La extrusión es el procedimiento de trabajo que consiste en hacer pasar el material, fluidificado por calentamiento, a través de una matriz (hilera) en la que se ha provocado un orificio capaz de darle la forma conveniente; el material, que sale en forma continua, se enfría rápidamente para que conserve la forma adquirida.

La extrusión se emplea para producir tubos, placas, perfiles, películas y recubrimientos de conductores y otros perfilados. La operación se efectúa con máquinas constituidas esencialmente de un depósito en el que está colocada la materia plástica, por la hilera y por un dispositivo de compresión que puede ser un émbolo (hileras de émbolo) o con más frecuencia un tornillo de Arquímedes (hileras de rosca).

El material que sale de la hilera se enfría con sistemas diferentes: los perfiles o cables recubiertos se sumergen directamente en un baño de agua, al término del cual, bancos de transporte, correas transportadoras u otros dispositivos, se encargan de recoger el producto. Se obtienen placas planas u hojas, por sistemas de rodillos o pequeñas calandras, que sirven también para uniformar y a veces para abrillantar el producto. Para los tubos se usa la extrusión en vertical o bien se recurre a sistemas que se encargan de mantener en el interior del tubo cierta presión de aire.

La extrusión, aunque especialmente adecuada para materias termoplásticas se usa también en algunos materiales termofragantes de alta plasticidad y de endurecimiento retardado; con este fin se emplean hileras de émbolo. Desde la década de los sesentas ha cobrado auge la extrusión de aluminio para la fabricación de perfiles y tubos.

La mayor parte de los productos termoplásticos son granulados antes de usarse en el proceso de termoformado posterior. Esto se debe a que la extrusión previa al granulado, permite mezclar la materia plástica con sus dopantes y pigmentos, y de esta forma los procesos posteriores se realizan con un material limpio que no mancha la máquina, y permite cambiar de color fácilmente.

El granulado o pelletizado de las materias termoplásticas se realiza después de la extrusión y enfriado por baño de agua en una cortadora de rodillo que es graduada y sincronizada para lograr un pellet de entre uno y tres milímetros de longitud. Dependiendo la forma en la que se enfría el pellet, este puede adquirir forma de gota o cilíndrica. El tamaño del pellet es de vital importancia ya que de este dependerá la temperatura de reblandecimiento, la calidad de la mezcla y algunas propiedades del producto final. Un diagrama esquemático de la secuencia del proceso se muestra en la figura 24, obsérvese que este muestra una hilera de rosca, que aunque el diagrama muestra la hélice con una distribución regular, normalmente esta tiene diferentes irregularidades para obligar al material que transporta a mezclarse uniformemente.

6.6 La Simulación.

La granulación de poliestireno es un proceso de cuatro fases básicamente. La primera es la del mezclado del material con el pigmento que se desea y su depósito en la tolva de materia prima para la extrusión, esta corresponde a la segunda fase. Posteriormente se enfría rápidamente por baño de agua recirculante cuidando que los hilos obtenidos en la extrusión no se peguen. Por último, se cortan los hilos en granos de la dimensión deseada y se almacenan en sacos etiquetados claramente para su identificación y uso posterior.

Dependiendo la calidad deseada del producto, de las dimensiones de la maquinaria y del material utilizado; se requerirán diferentes niveles de control térmico. Por lo general, un proceso de extrusión utiliza no menos de cuatro controles de temperatura para diferentes puntos en la hilera.

El calor se proporciona por medio de bancos de resistencias que rodean la hilera y la base de la tolva. La lectura de las temperaturas se hace por medio de termopares con capuchones de protección para altas presiones. El control de la variable se hace directamente sobre las resistencias permitiendo o cortando el paso de corriente eléctrica. La mayor parte de los controladores deben tener una precisión mejor que 2% sobre la temperatura deseada y mantenerla estable durante todo el proceso alrededor de los 187°C.

Por otro lado, el agua usada para solidificar el material, se enfría en torres de enfriamiento y su temperatura se debe controlar ya que de ser demasiado alta, el poliestireno se mantendrá reblandecido, difícil de cortar y en peligro de que se peguen los hilos plásticos. Bajas temperaturas tampoco son permitidas porque provocarían la ruptura del hilo en lugar de su corte.

A partir de lo anterior, se pueden establecer algunos puntos clave de control térmico: la base de la tolva, donde se realiza un precalentamiento; cada uno de los puntos de la hilera donde se calienta con bancos de resistencias; y la tina de agua, entre otros.

La simulación del proceso de granulación del poliestireno se realizó únicamente en uno de los puntos de control, de hecho, en la fase de precalentamiento donde se debe reblandecer el material de la base de la tolva a 110°C. Se procura impedir que este valor caiga por debajo de los 100°C ya que a los 95°C el poliestireno comienza a endurecer y aumenta el esfuerzo necesario para hacer girar el husillo de la hilera. Hacia arriba del setpoint se requiere cuidar que la temperatura no se eleve demasiado porque de reblandecerse mucho el material, su flujo sería más rápido y la mezcla no se realizaría adecuadamente, además, se perdería sincronía con el rodillo cortador y se incrementa la posibilidad de que aparezcan burbujas de aire, por este motivo se instala la alarma a 120°C.

Puesto que el control de temperatura es escalable y buscando que la simulación fuera segura, esta se realizó calentando agua en una parrilla eléctrica

controlada por el dispositivo diseñado. La temperatura se monitoreó en el display del sistema anotando las temperaturas y el estado de las salidas y alarmas cada minuto. No es aplicable una simulación con el poliestireno directamente ya que el contacto directo de este con la superficie del recipiente impide una distribución pareja del calor. Lo mencionado anteriormente, en condiciones reales no ocurre porque el husillo o émbolo desplazan constantemente el material mezclándolo e impidiendo su endurecimiento en el centro de la hilera.

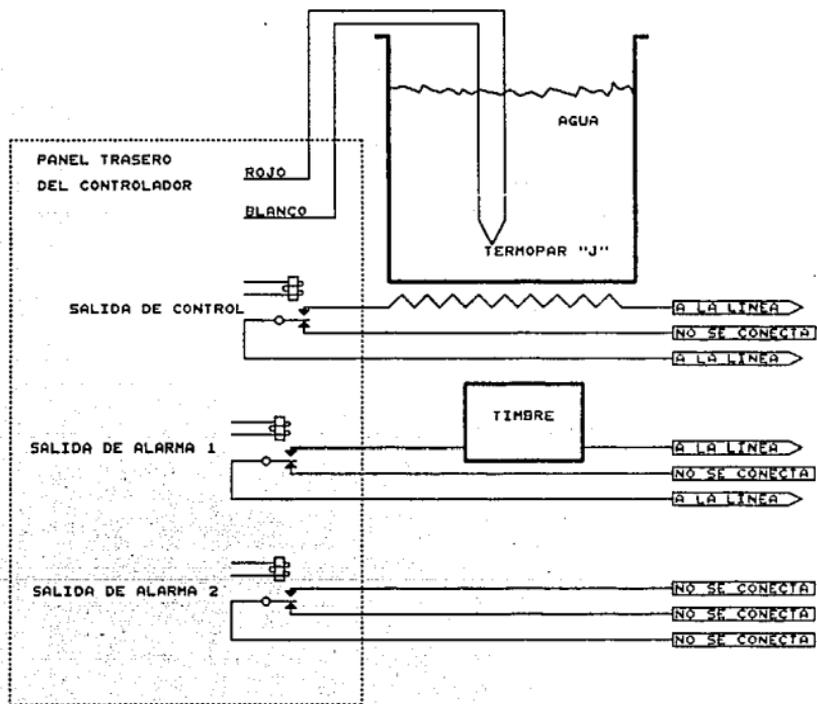


Figura 25.

La simulación se repitió varias ocasiones hasta encontrar los parámetros del controlador que más convienen, se inició utilizando un valor de constante proporcional igual a cero para que el control sea únicamente del tipo on off. Al final se utilizaron los parámetros que se mencionan en la siguiente sección y que nos proporcionan la mejor respuesta para el sistema.

6.7 Programación del Controlador.

En condiciones óptimas de control, en la simulación, las variables del controlador se programaron del siguiente modo:

- SETPOINT = 60°C.
- SETPOINT 1 ALARMA 1 = 40°C. ENCENDIDA
- HISTERESIS ALARMA 1 SP1 = 2.0°C.
- SETPOINT 2 ALARMA 1 = 80°C. ENCENDIDA
- HISTERESIS ALARMA 1 SP2 = 2.5°C.
- ALARMA 2 APAGADA
- CONSTANTE PROPORCIONAL = 2%
- CONSTANTE DE RESET = 9.0 °C.
- CONSTANTE DE TIEMPO = 30 SEGUNDOS.
- CONSTANTE DE BURNOUT = APAGAR.

Es importante remarcar que estos parámetros fueron los que proporcionaron mejores resultados después de varias veces que se experimentó. Si se modifica el volumen del material calentado, el recipiente o la parrilla utilizada, probablemente estos parámetros tengan que ser alterados nuevamente. Incluso es posible que esto sea necesario al cambiar las condiciones ambientales. Es obvio que en un proceso industrial normal las cantidades suelen ser constantes y de gran magnitud (pequeñas variaciones ya no serán significativas); las condiciones ambientales cambian muy lentamente. Por este motivo, para un mismo proceso no deberá ser necesario modificar los parámetros cotidianamente.

6.8 Instalación.

La simulación se realizó en un lugar seguro, con un extintor cerca para evitar eventualidades. Antes de operar el sistema se verificó que la corriente consumida por la parrilla no excediera los límites del relevador, de haber sucedido esto, hubiera sido necesario el uso de relevadores de mayor potencia activados por el

relevador actual. Se conectó la parrilla eléctrica a la línea a través del relevador de control del sistema.

Se procuró que las lecturas fueran tomadas en el centro del recipiente.

Para mantener la temperatura uniforme en todo el líquido, se agitaba este constantemente con una varilla.

Un zumbador de corriente alterna se conectó a la línea a través del relevador de salida de la alarma 1.

Las terminales de la alarma 2, y las del relevador normalmente cerrado (NC) de la salida de control y de la alarma 1 no se conectaron.

La figura 25 muestra el diagrama de las conexiones realizadas. Los resultados aparecen documentados a continuación.

6.9 RESULTADOS

Las pruebas efectuadas al equipo arrojaron los siguientes resultados:

Prueba de Drift.

La medición se realizó introduciendo el equipo en un horno eléctrico de uso domestico para que la punta fría resienta cambios de temperatura, la punta del termopar se mantuvo en el exterior dentro de un recipiente con agua hirviendo de modo que funcionó como una referencia fija. Un problema importante que se tuvo que resolver fue que el espacio reducido del interior no era suficiente para meter al equipo, por consiguiente, se desmontó de su armazón y se introdujeron las tarjetas separadas procurando no realizar cortos circuitos. Es de esperarse que esta medición no arroje datos iguales a los que el equipo montado puede proporcionar, pero considerando que las condiciones de la medición son más precarias que las normales, se infiere que de pasar estas pruebas deberá pasar las mismas con todo el armazón más fácilmente. A continuación se muestran los datos obtenidos.

Temperatura del agua hirviendo de referencia: 92°C.

Temperatura ambiente al realizar la prueba: 24°C.

TEMPERATURA DEL HORNO. (grados C)	DATO LEIDO EN DISPLAY. (grados C)	ERROR DE LECT (REF = 92)
24.5	92.5	0.5
30.0	91.8	-0.2
35.0	91.0	-1.0
40.0	89.9	-2.1
45.0	89.0	-3.0
50.0	88.3	-3.7
55.0	87.9	-4.1
60.0	87.4	-4.6

Error total = $|5.1|^\circ\text{C}$.

Error porcentual respecto al rango usado: 5.1/35.5

Error porcentual respecto al rango usado: 14.36%

Error porcentual respecto al rango total: 5.1/1100

Error porcentual respecto al rango total: 0.46%

Es muy probable que el error de 14.36% se deba a la forma en la que se realizó la prueba; en condiciones normales se espera mejor.

Prueba de Distancia.

Se realizaron mediciones semejantes usando un cable de termopar de 1.2m y uno de 20m. Las mediciones realizadas en esta prueba no presentaron ninguna alteración por lo que se deduce que el equipo permite utilizar extensiones de termopar dentro de este rango, sin ningún problema. A continuación se muestra una comparación entre algunas de las lecturas:

Temper. medida	Lect. Termop.	
	1.2M	20.0M
6	6.2	6.1
25	24.9	25.1
30	30.3	30.3
40	39.7	39.5
50	49.7	49.8
60	60.0	60.1
70	70.3	70.1
80	80.3	80.4

Prueba de Linealidad.

Esta prueba se realizó dentro del mismo rango de la simulación colocando un termómetro de mercurio al lado del termopar y uniéndolo a este de tal forma que queden alineados. Ambas lecturas serán del mismo punto y no existirá diferencias sustanciales entre ambos. Los resultados obtenidos se listan a continuación:

DATO LEIDO EN DISPLAY (grados C)	TEMPERATURA REAL (grados C)	ERROR DE LECT	PORCIENTO DE ERROR
10.7	7.5	-3.2	-42.67%
13.9	10.0	-3.9	-39.00%
15.8	12.5	-3.3	-26.40%
20.4	18.5	-1.9	-10.27%
23.0	22.5	-.5	-2.22%
26.4	26.0	-.4	-1.54%
30.6	30.0	-.6	-2.00%
33.0	33.0	.0	.00%
37.6	37.0	-.6	-1.62%
41.8	41.0	-.8	-1.95%
44.7	45.0	.3	.67%
47.8	48.0	.2	.42%
50.7	49.5	-1.2	-2.42%
52.6	52.5	-.1	-.19%

DATO LEIDO EN DISPLAY (grados C)	TEMPERATURA REAL (grados C)	ERROR DE LECT	PORCIENTO DE ERROR
54.5	54.0	-.5	-.93%
55.8	55.5	-.3	-.54%
57.0	57.0	.0	.00%
57.2	57.5	.3	.52%
59.0	59.0	.0	.00%
59.2	59.0	-.2	-.34%
59.5	60.0	.5	.83%
59.7	60.5	.8	1.32%
60.0	60.5	.5	.83%
60.1	60.5	.4	.66%
60.6	61.0	.4	.66%
60.4	60.5	.1	.17%
60.5	60.5	.0	.00%
60.4	60.5	.1	.17%
60.2	60.5	.3	.50%
60.1	60.5	.4	.66%
60.2	60.5	.3	.50%
60.3	60.5	.2	.33%
60.1	60.5	.4	.66%
60.1	60.0	-.1	-.17%
60.0	60.0	.0	.00%

Prueba de Tiempo Promedio Entre Fallas.

Esta prueba se realizó por un lapso de 72 horas, en realidad es muy poco tiempo para detectar fallas por uso continuo. Sin embargo, se detectaron las siguientes anomalías que se pueden corregir en versiones posteriores:

- **Vibración del Display:** Cuando el equipo está dentro de la banda proporcional programada, la cantidad de operaciones realizadas dentro de la subrutina de control es muy grande, por este motivo la distribución de tiempo entre la operación de despliegue de un dígito y de l siguiente, no siempre dura lo mismo y se observa en el display una vibración que no afecta en nada a las lecturas pero sí causa alguna confusión. Se plantean dos formas de corregir este problema; la primera es acelerar el reloj del sistema de modo que todas las operaciones se hagan más rápido y el ojo humano no pueda detectar esa vibración. La segunda es la modificación de la secuencia para lograr una mejor distribución del tiempo. Combinaciones entre ambas son posibles.
- **Error de Lectura:** Durante el switcheo del relevador de la salida de control, se detecta un pequeño error de lectura, en un sentido cuando se apaga y en el otro cuando se prende. Este error siempre es de 0.3°C. lo cual representa un porcentaje muy reducido del rango de lectura, pero puede causar alguna confusión en el

usuario. Se piensa que este error es debido a que los ciclos de esta subrutina son distintos para un caso y para el otro, la solución podría ser la introducción de instrucciones NOP en la sección donde se adelanta la lectura. En sentido inverso no debe ser necesario porque el ciclo de lectura siempre tiene tiempos mínimos.

SIMULACION 1. (CONTROL ON/OFF.)

PARAMETROS: (SIN AJUSTE)

SETPOINT = 60.0 °C

ALARMA 1 SP 1=40.0 °C. HIST ALM1 SP 1= 2.0 °C.

ALARMA 1 SP 2= 80.0 °C. HIST ALM1 SP 2= 2.0 °C.

CONTANTE PROPORCIONAL = 0.0 %

CONSTANTE DE TIEMPO = 10.0 seg.

CONSTANTE DE RESET = 0.0°C

tiempo (minutos)	DATO LEIDO EN DISPLAY (grados C)	STATUS CONTROL	ERROR AL SP	PORCIENTO DE ERROR AL SP
1.0	12.6	ON	47.4	79.0%
2.0	13.7	ON	46.3	77.2%
3.0	16.7	ON	43.3	72.2%
4.0	20.3	ON	39.7	66.2%
5.0	24.3	ON	35.7	59.5%
6.0	28.4	ON	31.6	52.7%
7.0	35.6	ON	24.4	40.7%
8.0	37.0	ON	23.0	38.3%
9.0	39.6	ON	20.4	34.0%
10.0	42.3	ON	17.7	29.5%
11.0	46.1	ON	13.9	23.2%
12.0	50.0	ON	10.0	16.7%
13.0	56.5	ON	3.5	5.8%
14.0	58.5	ON	1.5	2.5%
15.0	62.5	OFF	-2.5	-4.2%
16.0	62.0	OFF	-2.0	-3.3%
17.0	61.8	OFF	-1.8	-3.0%
18.0	61.2	OFF	-1.2	-2.0%
19.0	61.1	OFF	-1.1	-1.8%
20.0	61.1	OFF	-1.1	-1.8%
21.0	60.8	OFF	-.8	-1.3%
22.0	60.8	OFF	-.8	-1.3%

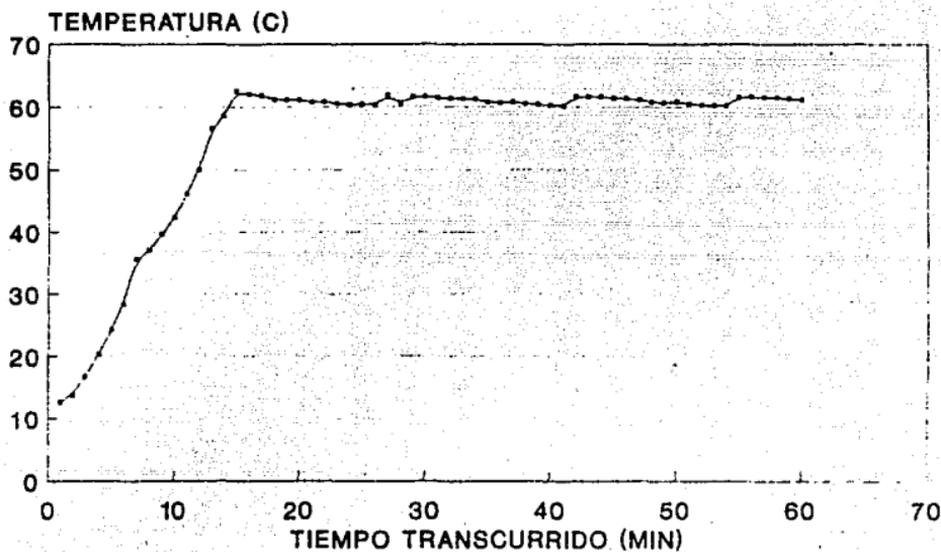
tiempo (minutos)	DATO LEIDO EN DISPLAY (grados C)	STATUS CONTROL	ERROR AL SP	PORCIENTO DE ERROR AL SP
23.0	60.6	OFF	-.6	-1.0%
24.0	60.4	OFF	-.4	-.7%
25.0	60.5	OFF	-.5	-.8%
26.0	60.3	OFF	-.3	-.5%
27.0	61.9	OFF	-1.9	-3.2%
28.0	60.5	OFF	-.5	-.8%
29.0	61.6	OFF	-1.6	-2.7%
30.0	61.6	OFF	-1.6	-2.7%
31.0	61.5	OFF	-1.5	-2.5%
32.0	61.4	OFF	-1.4	-2.3%
33.0	61.3	OFF	-1.3	-2.2%
34.0	61.3	OFF	-1.3	-2.2%
35.0	60.8	OFF	-.8	-1.3%
36.0	60.7	OFF	-.7	-1.2%
37.0	60.8	OFF	-.8	-1.3%
38.0	60.5	OFF	-.5	-.8%
39.0	60.4	OFF	-.4	-.7%
40.0	60.3	OFF	-.3	-.5%
41.0	60.1	OFF	-.1	-.2%
42.0	61.6	OFF	-1.6	-2.7%
43.0	61.6	OFF	-1.6	-2.7%
44.0	61.6	OFF	-1.6	-2.7%
45.0	61.4	OFF	-1.4	-2.3%
46.0	61.3	OFF	-1.3	-2.2%
47.0	61.1	OFF	-1.1	-1.8%
48.0	60.8	OFF	-.8	-1.3%
49.0	60.7	OFF	-.7	-1.2%
50.0	60.8	OFF	-.8	-1.3%
51.0	60.5	OFF	-.5	-.8%
52.0	60.3	OFF	-.3	-.5%
53.0	60.2	OFF	-.2	-.3%
54.0	60.2	OFF	-.2	-.3%
55.0	61.5	OFF	-1.5	-2.5%
56.0	61.6	OFF	-1.6	-2.7%
57.0	61.5	OFF	-1.5	-2.5%
58.0	61.5	OFF	-1.5	-2.5%
59.0	61.3	OFF	-1.3	-2.2%
60.0	61.1	OFF	-1.1	-1.8%

Tiempo de Rampa: 15 Minutos.

Error Máximo Despues de Cruzar por Primera Vez el SETPOINT: 4.2%.

Se puede observar la gráfica del comportamiento en la siguiente página.

SIMULACION 1. CONTROL ON/OFF



— LECTURA DEL TERMOPAR.

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CON CONTROL ON/OFF.

SIMULACION 2.**CONTROL PROPORCIONAL.****PARAMETROS DE AJUSTE FINAL:**

SETPOINT = 60.0 °C.

ALARMA 1 SP 1 = 40.0 HIST ALM1 SP 1 = 2.0

ALARMA 1 SP 2 = 20.0 HIST ALM1 SP 2 = 2.0

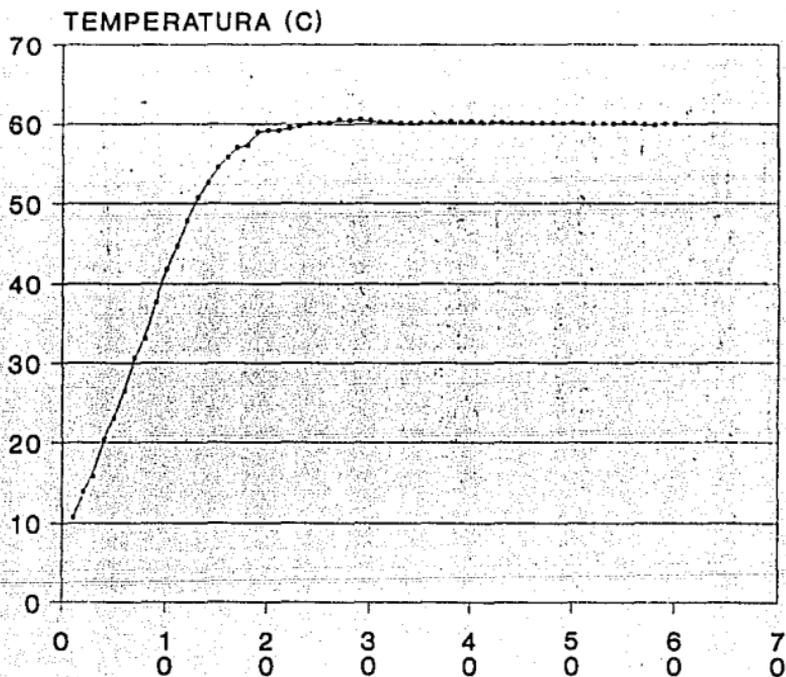
CONSTANTE DE TIEMPO = 30.0 seg.

CONSTANTE PROPORCIONAL = 2.0 %

CONSTANTE DE RESET = 9.0

tiempo (minutos)	DATO LEIDO EN DISPLAY (grados C)	STATUS CONTROL	STATUS ALM 1	ERROR AL SP	PORCIENTO DE ERROR AL SP
1.0	10.7	ON	ON	49.3	82.2%
2.0	13.9	ON	ON	46.1	76.8%
3.0	15.8	ON	ON	44.2	73.7%
4.0	20.4	ON	ON	39.6	66.0%
5.0	23.0	ON	ON	37.0	61.7%
6.0	26.4	ON	ON	33.6	56.0%
7.0	30.6	ON	ON	29.4	49.0%
8.0	33.0	ON	ON	27.0	45.0%
9.0	37.6	ON	ON	22.4	37.3%
10.0	41.8	ON	ON	18.2	30.3%
11.0	44.7	ON	OFF	15.3	25.5%
12.0	47.8	ON	OFF	12.2	20.3%
13.0	50.7	PROP	OFF	9.3	15.5%
14.0	52.6	PROP	OFF	7.4	12.3%
15.0	54.5	PROP	OFF	5.5	9.2%
16.0	55.8	PROP	OFF	4.2	7.0%
17.0	57.0	PROP	OFF	3.0	5.0%
18.0	57.2	PROP	OFF	2.8	4.7%
19.0	59.0	PROP	OFF	1.0	1.7%
20.0	59.2	PROP	OFF	.8	1.3%
21.0	59.2	PROP	OFF	.8	1.3%
22.0	59.5	PROP	OFF	.5	.8%
23.0	59.7	PROP	OFF	.3	.5%
24.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
25.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%

SIMULACION 2. CONTROL PROPORCIONAL.



— LECTURA DEL TERMOPAR

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CON CONTROL PROPORCIONAL.

tiempo (minutos)	DATO LEIDO EN DISPLAY (grados C)	STATUS CONTROL	STATUS ALM 1	ERROR AL SP	PORCIENTO DE ERROR AL SP
26.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
27.0	60.5	PROP	OFF	-.5	-.8%
28.0	60.4	PROP	OFF	-.4	-.7%
29.0	60.5	PROP	OFF	-.5	-.8%
30.0	60.4	PROP	OFF	-.4	-.7%
31.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
32.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
33.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
34.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
35.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
36.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
37.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
38.0	60.3	PROP	OFF	-.3	-.5%
39.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
40.0	60.3	PROP	OFF	-.3	-.5%
41.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
42.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
43.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
44.0	60.2	PROP	OFF	-.2	-.3%
45.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
46.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
47.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
48.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
49.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
50.0	60.1	PROP	OFF	-.1	-.2%
51.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
52.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
53.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
54.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
55.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
56.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
57.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
58.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
59.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%
60.0	60.0	PROP	OFF	.0	.0%

Tiempo de Rampa: 24 Minutos.

Error Máximo Después de Cruzar por Primera Vez el SETPOINT: 0.8%.

Se puede observar la gráfica del comportamiento en la página anterior.

CONCLUSIONES.

"Todas las grandes obras (y precisamente porque lo son) contienen algo incumplido. Broch nos inspira no sólo por todo lo que ha llevado a buen término sino también por todo lo que se ha propuesto sin alcanzarlo. Lo incumplido en su obra puede hacernos comprender"

-MILAN KUNDERA- El Arte de la Novela.

"El fin último del conocimiento es saber que no podemos saberlo todo. Pero hay dos modos de no saber: Uno es cuando el hombre no empieza ni a examinar, o a tratar de saber, porque es imposible saber. El otro examina y busca hasta que llega a saber, que uno no puede saberlo todo."

-BAAL SHEM TOV.

Introducción.

Esta sección, es la culminación del trabajo de tesis. Hasta ahora, se ha manejado la información analizando el equipo diseñado, las aplicaciones que este pudiera tener y los resultados obtenidos en la experimentación con él.

El presente capítulo muestra las conclusiones principales a las que se llegó a partir de los anteriores, y con el desarrollo práctico del controlador en cuestión. Se plantean los pasos a seguir para continuar con el desarrollo del proyecto y definir las limitaciones y alcances que no se conocían en un principio y que ahora se presentan con mayor claridad.

Los razonamientos que se realizan en esta sección, no pretenden calificar los datos obtenidos en la simulación ya que eso se efectuó en el capítulo anterior, son más bien una evaluación con el fin de incluir una crítica que documente tales experiencias, para ser aprovechadas en investigaciones posteriores del mismo tipo.

Para abordar el tema de las conclusiones, se incluye antes un breve resumen de lo tratado en todos los capítulos anteriores.

Las conclusiones se presentan divididas desde varios puntos de vista:

- La cuestión industrial.- Una evaluación del sistema para determinar su aplicación en la industria.
- La cuestión académica.- Algunos puntos clave en la formación universitaria que fueron comprendidos con el auxilio de la tesis.

Resumen.

Existe un espacio en el mercado nacional de controladores industriales para introducir productos como el diseñado; es decir, controladores digitales de alta resolución, fabricación nacional, instructivo y letreros en español, bajo costo, calibrable para trabajar en diversos entornos.

Se diseñó el dispositivo de tal forma que pueda recibir cualquier transductor mediante una interfase que entregue 10mV/Unidad. Se incluye un acoplador para lectura de temperatura mediante un termopar tipo "J" compensado por diodo en la punta fría. La selección del tipo de transductor se basa en el rango que se quiere abarcar y el tipo de control que se quiere realizar.

Por el precio, facilidad de diseño, compatibilidad con microcontroladores de alto grado de integración y por características técnicas como el poco consumo de energía, se decide el desarrollo del prototipo basado en arquitectura Z80 de ZILOG con un CPU de tecnología CMOS. Las direcciones de puertos y mapas de memoria se ubican de tal forma que sea compatible con un microcontrolador TOSHIBA que pueda substituir en un futuro gran parte de la tarjeta principal.

Para poder realizar lecturas de la variable de proceso con cuatro dígitos y medio, se diseñó un convertidor analógico digital mediante el uso de dos canales en cascada del Z80 CTC funcionando como contadores, un circuito comparador permite el flujo de pulsos de reloj al contador, mientras que una rampa generada en un capacitor se encuentre por debajo del nivel de lectura.

La decodificación del dato se realiza por en el firmware.

El intercambio de información entre el usuario y el controlador se realiza en una tarjeta frontal que incluye el teclado y el display.

Dada la necesidad de mantener congruencia en los datos de programación, se incluye en el firmware una serie de autopruebas que deben verificar la existencia de datos válidos, la congruencia entre ellos, la lectura correcta, algunos desperfectos físicos y la existencia de ruido en la línea. Un sistema guardián o watchdog se mantiene alerta de tal forma que en el momento en que algo sacara de secuencia al controlador, este resetearía, realizaría las autopruebas y regresaría a secuencia, al no existir mayores problemas.

Los datos de programación son almacenados en forma repetida en un bloque de memoria RAM protegido con backup de baterías para evitar que las fallas en la energía eléctrica los borre.

El control se realiza mediante relevadores, la proporcionalidad de la salida se mantiene modificando la relación entre tiempo de encendido y tiempo de apagado de tal forma que la transferencia total de energía a través del relevador sea, en un período de tiempo programable definido como ciclo de control, proporcional al error entre la variable de proceso y su valor ideal llamado SETPOINT. La constante de

proporcionalidad no es programable directamente pero depende del ancho de banda seleccionado para trabajar.

El ancho de banda proporcional se define como el valor porcentual del rango total de la variable del proceso dentro del cual se desea tener control proporcional. Definir un ancho de banda de cero equivale a seleccionar un control de tipo ON-OFF.

La banda proporcional siempre se ubica de tal forma que el SETPOINT se mantenga al centro.

El firmware es un programa de 4Kb. desarrollado en ensamblador que incluye todas las subrutinas del controlador. La rutina principal es un loop que hace un llamado secuencial de todas las subrutinas, pero no todas se realizan cada vez, esto dependerá del estado de las variables.

Para poder controlar en forma eficiente, se incluyen alarmas que funcionan del mismo modo que un control ON-OFF. La primera alarma fue diseñada para ser acondicionada como alarma acústica, pero a la salida del relevador se puede conectar también un dispositivo auxiliar de control. La primera alarma se puede programar para que se prenda con dos diferentes SETPOINTS por encima o por debajo del de control. La segunda alarma se puede ubicar arriba o abajo para controlar dispositivos de emergencia.

La programación del controlador se puede realizar desde el teclado frontal cambiando el modo CORRIDA a modo PROG. Un sistema de seguridad impide que los datos capturados durante una programación alteren a los anteriores sin presionar la tecla GRAB como confirmación.

Entre la gran variedad de aplicaciones que puede tener un controlador universal como el diseñado, está el control de temperatura en un proceso de extrusión y pelletizado de materiales plásticos. En este tipo de procesos, es necesario a veces más de un controlador para asegurar que el flujo del material sea constante a través de la hilera de extrusión.

Conclusiones.

Este proyecto se inició con objetivos muy definidos, al evaluar cada uno de ellos es posible obtener las siguientes conclusiones:

- El diseño y la implementación del sistema de control universal cuya aplicación sea principalmente el control de temperatura para uso industrial se logró con una confiabilidad aceptable dentro de los rangos que una primera fase representa.
- La facilidad con la que se puede programar el equipo, y que sus carátulas y desplegados estén en español, permite a cualquier usuario aprenderlo a usar

rápidamente. Su instalación es bastante sencilla, esto asegura que el equipo podrá comenzar a funcionar inmediatamente después de haber sido adquirido.

- El hecho de que el rango actual de control térmico sea amplio, permite acoplarlo a las necesidades estándar en la industria. Aunado a esto, el costo relativamente bajo, proyectan al controlador como un buen material a comercializar.
- Es posible controlar diferentes tipos de equipos de potencia con el dispositivo diseñado.

Los problemas principales que se deben considerar para las fases siguientes de este proyecto son:

- **Tiempo de desarrollo.**-Esta primera fase se desarrolló en el transcurso de alrededor de dos años de trabajo, en este período de tiempo las características del equipo se vieron varias veces modificadas para adecuar el proyecto a las circunstancias cambiantes, es importante considerar que este tipo de proyectos no debe llevar tanto tiempo en su desarrollo porque pierde la actualidad con la que originalmente se proyectó. Su desarrollo se debe hacer con la participación de un equipo de trabajo mucho mayor y así acelerar los resultados.
- **Espacio dentro del chasis del controlador.**- Para conservar el estándar de las dimensiones del equipo es importante cuidar que el chasis del controlador sea modular y permita recibir las tarjetas de expansión. Por otra parte es importante considerar la utilización de circuitos electrónicos de mayor integración y reducir el espacio.
- **Velocidad del reloj.**- Para asegurar que el loop de control siga monitoreando la VP por lo menos tres veces por segundo, cuando el programa sea más extenso, va a ser necesario cambiar el reloj de 2MHz por uno de 6MHz y modificar la constante del contador de tiempo. Esto puede corregir no sólo el proceso de control, sino que la presentación en el display mejorará en calidad. Sin embargo, será necesario introducir filtros de ruido en la tarjeta. A velocidades superiores el ruido es un parámetro que se debe cuidar mucho por lo que se requerirá que el prototipo ya no se realice sobre tarjetas de experimentación sino sobre circuitos impresos.
- Es necesario modificar algunos parámetros que permitan la posterior integración de equipo externo de forma modular. La impresora de proceso y la línea de comunicación serial a computadora central ya se han contemplado pero su desarrollo implica modificaciones en hardware y software.
- El modo de interrupción en el que funciona actualmente el microprocesador del equipo es el 1, es decir, sin vectores de interrupción; esto es suficiente para los requerimientos actuales pero no lo será al incluir más puertos en la arquitectura.
- La salida por relevador, es muy utilizada en la industria moderna pero hay una tendencia a incluir salidas analógicas proporcionales. Aunque el puerto de salida ya está definido para este tipo de convertidor, no se ha implementado la subrutina que realice las operaciones necesarias.

- Es de vital importancia mejorar el filtrado del ruido de la línea, ya que se detecta con bastante frecuencia errores de esta índole.
- Actualmente la arquitectura contempla únicamente 4Kb de memoria ROM, este espacio en memoria ya está saturado y será necesario modificar el mapa de memoria de tal forma que acepte por lo menos el doble.

Después de haber concluido esta fase del sistema, es posible observar que para el desarrollo de proyectos como el presente es necesario buscar mayor apoyo por parte de la Universidad y este sólo podrá existir si las Facultades y Escuelas cuentan con mayores recursos para incursionar en proyectos semejantes. La industria nacional y las instituciones educativas deben avanzar en conjunto, con proyectos comunes, para lograr por una parte el desarrollo de tecnología y por el otro, la capacitación de los estudiantes en las áreas en las que se requieran.

APENDICES

APENDICE 1

A1.1 Estándares: Escala Internacional de Temperatura.

Para que los investigadores en diferentes partes del mundo puedan comparar los resultados de sus experimentos con una base común, es necesario establecer ciertas unidades estándar de longitud, peso, tiempo, temperatura y cantidades eléctricas.

Para los fines de este proyecto, se mencionarán en esta apéndice, los estándares Internacionales con respecto a la temperatura.

En 1854, Lord Kelvin propuso una escala absoluta de temperatura, la cual constituye la base para los cálculos termodinámicos. Esta escala absoluta se define de tal manera, que le da un sentido particular a la segunda ley de la termodinámica. La Escala Internacional de Temperatura de 1948 se construyó de tal manera que se apega fielmente, dentro del límite experimental, a la escala termodinámica absoluta. En la escala internacional, se establecieron seis puntos primarios, como lo muestra la tabla A-1. Asimismo, se establecieron puntos fijos secundarios, los cuales están en la tabla A-2. Adicionalmente a los puntos fijos establecidos, se marcaron los procedimientos precisos de interpolación entre estos puntos. En la tabla A-3, se presentan estos procedimientos.

Tabla A-1.

Puntos primarios para la Escala Internacional de Temperatura de 1948.

Presión estándar = 14.6959 psia	^o F	^o C	^o K
Oxígeno: Temperatura de equilibrio entre el oxígeno y su vapor.	-297.346	-182.470	90.19
Hielo: Temperatura de equilibrio entre el hielo y el agua (saturación del aire)	32.0	0.0	273.16
Vapor: Temperatura de equilibrio entre el agua líquida y su vapor.	212.0	100.0	373.16
Azufre: Temperatura de equilibrio entre el azufre y su vapor.	832.28	444.6	717.76
Plata: Temperatura equilibrio entre las fases sólida y líquida de la plata.	1761.4	960.8	1283.96
Oro: Temperatura de equilibrio entre la fase sólida y líquida del oro	1945.4	1063.0	1336.16

Tabla A-2.**Puntos Fijos Secundarios en la Escala Internacional de Temperatura de 1948.**

PUNTO DE:	TEMPERATURA EN °C
Equilibrio entre el dióxido de carbono sólido y su vapor.	-78.5
Congelación del mercurio.	-38.7
Equilibrio entre el hielo, agua y su vapor (pto.triple).	+ 0.0100
Congelación del estaño.	231.9
Congelación del cadmio.	320.9
Congelación del plomo.	327.3
Equilibrio entre el mercurio y su vapor	356.58
Congelación del zinc.	419.5
Congelación del antimonio.	630.5
Congelación del aluminio.	660.1
Congelación del cobre en una atmósfera reducida.	1083
Congelación del níquel.	1453
Congelación del cobalto.	1492
Congelación del polatino.	1769
Congelación del rodio.	1960
Congelación del iridio.	2443
Fusión del tungsteno.	3880

TABLA A-3.**Procedimientos de Interpolación para la Escala Internacional****de Temperatura de 1948.**

- 1) Rango de Aplicación: 0 - 630.5 °C (Entre el punto del hielo y el punto de congelación del antimonio).

El procedimiento de interpolación se basa en la resistencia de un termómetro de platino:

$$R_t = R_0(1 + AT + BT^2)$$

donde R_t es la resistencia a temperatura T medida en ohms, R_0 es la resistencia a 0°C, A y B son constantes determinadas de los valores medidos de R_t en los puntos de vapor de agua y azufre, y T es la temperatura.

- 2) Rango de Aplicación: -182.97 - 0 °C (Entre los puntos del oxígeno y del hielo).

El procedimiento de interpolación se basa en la resistencia de un termómetro de platino:

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3]$$

donde R_T es la resistencia a temperatura T medida en ohms, R_0 es la resistencia a 0°C, A y B son constantes determinadas de los valores medidos de R_t en los puntos de vapor de agua y azufre, C es una constante determinada de la resistencia en el punto del oxígeno y T es la temperatura.

- 3) Rango de Aplicación: 630.5 - 1063.0 °C (Entre el punto de congelación del antimonio y el punto del oro).

El procedimiento de interpolación se basa en el termopar estándar de platino y platino 10% rodio:

$$E = a + bT + cT^2$$

Donde E es la FEM del termopar cuando una junta está a 0°C y la otra a temperatura T . T es la temperatura en el rango especificado; a , b , y c son constantes determinadas de la fem en los puntos del antimonio, plata y oro respectivamente.

- 4) Rango de aplicación superior a 1063.0 °C. (Arriba del punto del oro).

La temperatura se define por:

$$\frac{J_t}{J_{\text{Au}}} = e^{\frac{C_2}{C_2'} \frac{(T_{\text{Au}} + T_0) - 1}{(T - T_0) - 1}}$$

Donde J_t , y J_{Au} es la energía radiante emitida por la unidad de tiempo, por unidad de área y por unidad de longitud de onda; a la temperatura T y a la temperatura del punto del oro T_{Au} , respectivamente. $C_2 = 1.438 \text{ cm} \cdot ^\circ\text{K}$. T_0 es 273.16°K. es la longitud de onda.

A1.2 TERMOPAR "J" HIERRO - CONSTANTAN SAMA.

Punta Fría a 0°C.

Voltaje Termoeléctrico en Microvolts Absolutos.

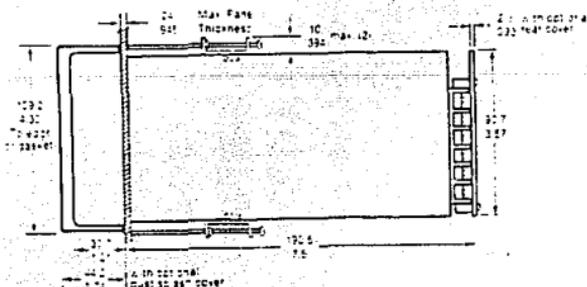
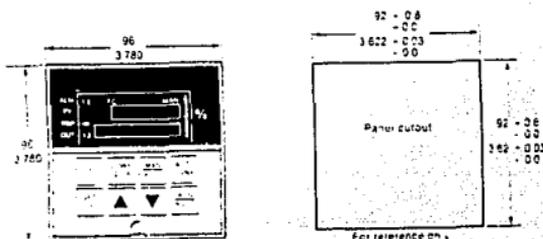
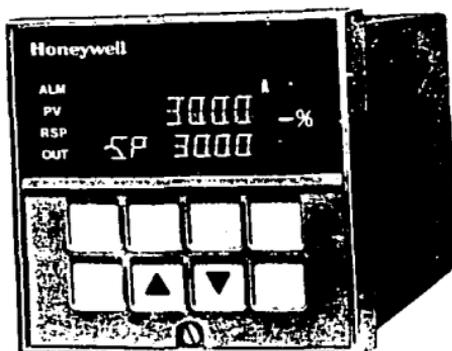
°C	VOLTAJE	°C	VOLTAJE	°C	VOLTAJE	°C	VOLTAJE
-210	-8.0956	170	9.1134	550	30.2103	880	50.6209
-200	-7.8905	180	9.6672	560	30.7816	890	51.2494
-190	-7.6587	190	10.2217	570	31.3557	900	51.8746
-180	-7.4022	200	10.7765	580	31.9327	910	52.4963
-170	-7.1224	210	11.3317	590	32.5127	920	53.1145
-160	-6.8210	220	11.8870	600	33.0960	930	53.7292
-150	-6.4993	230	12.4424	610	33.6827	940	54.3405
-140	-6.1588	240	12.9977	620	34.2729	950	54.9484
-130	-5.8006	250	13.5529	630	34.8667	960	55.5531
-120	-5.4260	260	14.1079	640	35.4643	970	56.1546
-110	-5.0362	270	14.6627	650	36.0656	980	56.7531
-100	-4.6321	280	15.2172	660	36.6708	990	57.3489
-90	-4.2148	290	15.7713	670	37.2799	1000	57.9421
-80	-3.7852	300	16.3251	680	37.8929	1010	58.5329
-70	-3.3441	310	16.8785	690	38.5097	1020	59.1215
-60	-2.8925	320	17.4315	700	39.1302	1030	59.7081
-50	-2.4310	330	17.9842	710	39.7544	1040	60.2931
-40	-1.9604	340	18.5365	720	40.3820	1050	60.8764
-30	-1.4814	350	19.0885	730	41.0129	1060	61.4585
-20	-.9946	360	19.6402	740	41.6468	1070	62.0395
-10	-.5006	370	20.1918	750	42.2832	1080	62.6195
0	0.0000	380	20.7432	760	42.9220	1090	63.1987
10	0.5067	390	21.2945			1100	63.7773
20	1.0190	400	21.8459		SOLO COMO	1110	64.3554
30	1.5364	410	22.3974		REFERENCIA	1120	64.9330
40	2.0584	420	22.9491			1130	65.5102
50	2.5848	430	23.5012	760	42.9219	1140	66.0871
60	3.1150	440	24.0538	770	43.5631	1150	66.6636
70	3.6487	450	24.6071	780	44.2069	1160	67.2397
80	4.1856	460	25.1611	790	44.8522	1170	67.8151
90	4.7254	470	25.7161	800	45.4982	1180	68.3898
100	5.2677	480	26.2721	810	46.1443	1190	68.9635
110	5.8123	490	26.8295	820	46.7896	1200	69.5360
120	6.3588	500	27.3882	830	47.4338		
130	6.9071	510	27.9487	840	48.0762		
140	7.4569	520	28.5109	850	48.7165		
150	8.0081	530	29.0751	860	49.3542		
160	8.5603	540	29.6415	870	49.9891		

APENDICE 2.

Información Técnica de Controladores Comerciales

Este apéndice presenta datos técnicos de diferentes controladores comerciales. La sección A 2.1 muestra los datos del UDC 3000 de Honeywell que se toma como referencia del controlador universal más versátil y económico. La sección A2.2 presenta los datos del controlador universal UDC 5000 de Honeywell. Por último la sección A2.3 presenta una lista de diferentes PLC's comerciales y sus características.

A 2.1 EL UDC 3000 de HONEYWELL



Function

The UDC 3000 Universal Digital Controller is a microprocessor-based stand alone controller. It combines the highest degree of functionality and operating simplicity offered in a 1/4 DIN size.

With a typical accuracy of $\pm 0.20\%$ of percent of span, the UDC 3000 is an ideal controller for regulating temperature and other process variables in numerous heating and cooling applications, in metal working, food, and pharmaceuticals, and testing and environmental work.

The dedicated vacuum fluorescent displays with English language prompts make the operator interface easy to read, understand, and operate. Programmed sequences of displays assure quick and accurate entry of all configurable parameters. Simple keystrokes let you select input and range configuration, set the operating parameters that meet your process control needs now, and change them later to meet new ones. The tactile keyboard provides positive operator feedback.

The UDC 3000 is environmentally hardened and can be mounted virtually anywhere in plant or factory, on the wall, in a panel, or even on the process machine. It withstands ambient temperatures up to 55°C and resists the effects of vibration and mechanical shock.

Self diagnostics, fault tolerant design and keyboard security provide maximum assurance of trouble-free operation.

Features and Benefits

- **Dedicated Displays** — Vacuum fluorescent displays, with English language prompts, keep you informed of up-to-the-minute process conditions. A deviation bargraph indicates deviation (up to $\pm 10\%$ of span) between set point and process variable.
- **Universal Isolated Inputs** — Accepts thermocouple, RTD, mA, mV, and Volts input. All are configurable; no need to calibrate.
- **Thermocouple Failsafe** — Configurable upscale or downscale burnout and failsafe output level.
- **Easy Configuration** — English language prompts lead you through configuration in a logical sequence.
- **Manual/Automatic Modes** — Bumpless, balanceless transfer between control modes.
- **Control Algorithms** — The controller can be configured for ON-OFF, PID-A, PID-B, PD with Manual Reset, or Three Position Step Control.
- **Heat/Cool Capability** — Provides split range control with independent PID tuning constants; one for heating, one for cooling, plus mixed output forms.

- **Control Outputs** — Time, Current, or Position Proportional; On-Off, Time or Current Proportional Duplex, or Current/Relay Duplex.
- **Two Local Set Points** — Available as keyboard selectable or optional remote switch selectable.
- **Alarm Selection** — One or two fully configurable alarms alert you to critical process conditions.
- **Set Point Ramp** — Provides a single programmable set point ramp of up to 255 minutes duration.
- **Set Point Ramp/Soak Programming** — enables you to program and store 6 ramp and 6 soak segments to be used in one program or multiple small programs.
- **Options** — Include AUTOTUNE which automatically calculates optimum tuning constants, 4-20 mA AUXILIARY OUTPUT scaleable to represent any parameter, COMMUNICATIONS link to a host computer, SET POINT RAMP/SOAK PROGRAMMING with 6 ramp and 6 soak segments, DIGITAL INPUT allows remote selection of set points, control modes, controller action, Run/Hold of set point ramp, or Set Point Ramp/Soak Program.

Condensed Specifications

Accuracy

= 0.20% of Percent of Span typical (= 1 digit for display)

POWER REQUIREMENTS

120/240 Volts, 50 or 60 Hz

TUNING PARAMETERS

Gain or PB (%) 0.1 to 999.9

Rate 0.08 to 10.00 Minutes

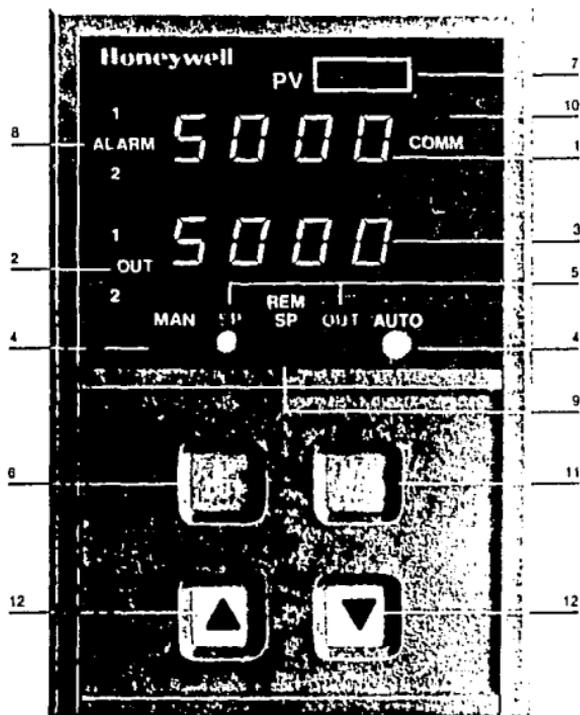
Reset 0.02 to 50.00 Minutes:Repeat or Repeats/Minute

Inputs	SENSOR TYPE	PV INPUT RANGE	
		*F	*C
THERMOCOUPLES			
B*		105 to 3300	41 to 1815
E*		-454 to 1832	-270 to 1000
E (low)		-200 to 1100	-118 to 593
J		0 to 1600	-18 to 871
J (low)		20 to 770	-7 to 410
K		0 to 2400	-18 to 1316
K (low)		-20 to 1000	-29 to 558
N NiNiMoLy		32 to 2500	0 to 1371
N NiNiMoLy (low)		32 to 1260	0 to 682
R		0 to 3100	-18 to 1704
S		0 to 3100	-18 to 1704
T		-300 to 700	-184 to 371
T (low)		-200 to 600	-129 to 316
W ₁ W ₂		0 to 4200	-18 to 2316
W ₁ W ₂ (low)		0 to 2240	-18 to 1227
RTD			
IEC Alpha - 0.00385			
100 Ohms		-300 to 900	-184 to 482
100 Ohms		0 to 300	-18 to 149
500 Ohms		-300 to 900	-184 to 482
LINEAR			
Milliamps		4 to 20 mA	
Millivolts		0 to 10 mV	
		10 to 50 mV	
Volts		1 to 5V	
		0 to 10V	

OPERATING CONDITIONS

	REFERENCE CONDITIONS	RATED CONDITIONS	OPERATIVE LIMITS	TRANSPORTATION AND STORAGE
Ambient Temperature	22 ± 3°C 72 ± 5°F	15 to 55°C 59 to 131°F	0 to 55°C 32 to 131°F	-40 to 66°C -40 to 151°F
Vibration				
Frequency (Hz)	0	0 to 70	0 to 200	0 to 200
Acceleration (g)	0	0.1	0.2	0.5
Mechanical Shock				
Acceleration (g)	0	1	5	25
Duration (ms)	0	30	30	30
Voltage (Vac)	120 ± 1 240 ± 2	102 to 132 204 to 264	102 to 132 204 to 264	—
Frequency (Hz)	50 ± 0.2 60 ± 0.2	49 to 51 59 to 61	48 to 52 58 to 62	—

A 2.2 El UDC 5000 de HONEYWELL.



- | | |
|--|--|
| 1 4 digit process variable dedicated display | 7 Space used to label PV calibration in engineering units |
| 2 LED's indicate each controller output status | 8 LED's show which alarms are activated |
| 3 Display shows setpoint value, or % value of output. | 9 LED indicates remote setpoint operation. |
| 4 Indicates manual or automatic operation. | 10 Communication status LED |
| 5 Indicates whether setpoint or output is being displayed. | 11 Permits selection of operating mode. Process variable tracking is built in. |
| 6 Permits selecting setpoint or output display | 12 Increment/Decrement keys |

UDC 5000

Universal Digital Controller

UDC 5000 saves money

All due to lower buying, installation and maintenance costs. Multifunction capabilities eliminate auxiliary computing devices, resulting in one order to one supplier and fewer instruments to specify. With auxiliaries and transducers eliminated, installation is simplified. Built-in self-diagnostics pinpoint trouble.

UDC 5000 simplifies operation

Order one model... "dedicate" it to your process in your plant. And when your process changes, operating parameters such as range, control action, algorithms, and alarm action, can be changed by pushbutton, thereby re-dedicating the UDC 5000 to meet your new needs. A sim-

ple 4-key interface shrinks operator training time to minutes.

Condensed specifications

Number of Inputs

One or Two. All sensor curves contained in non-volatile memory.

Type of Inputs

Thermocouple — B, E, J, K, N, Ni, Ni, Mo, R, S, T, W, W₁; RTD (Resistance Temperature Detector) — 100-, 200-, 500-ohm; mA dc, mV dc, Volts; Radiometric heat-radiation sensor; Relative Humidity; Carbon Potential.

Control algorithms

• On-off • PID A • PID B • PD manual reset • 3-position step

Controller outputs

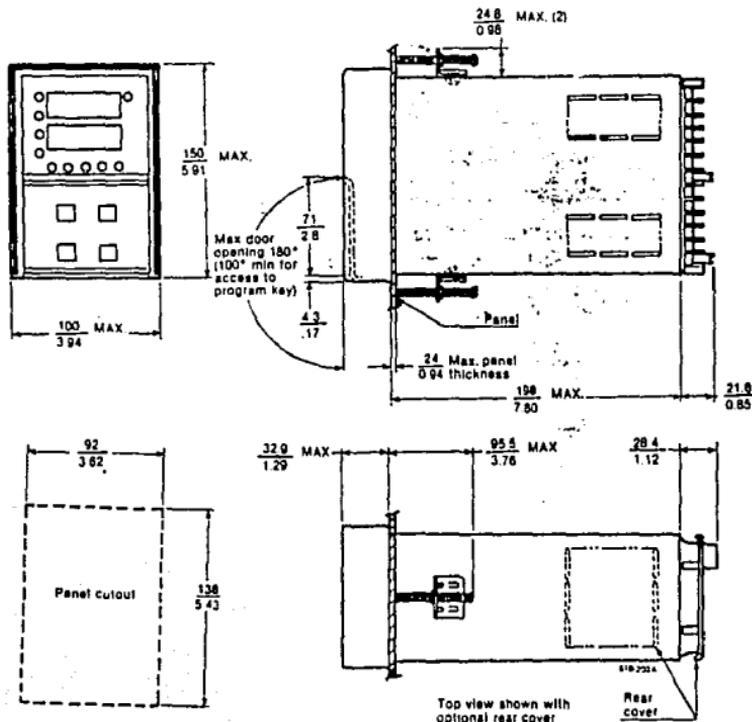
• On-off • Time proportional • Position proportional • Current proportional • 3-position step • Mixed current/time • Time-duplex

Integral computing functions

Two square root extractors, one ratio bias station, input averaging.

Power requirements

120, 240 Vac, 60 or 50 Hz.



Dimensions: $\frac{\text{millimetre}}{\text{inches}}$

A 2.3 Clasificación de algunos PLC'S Comerciales.

Programmable Controllers															
MANUFACTURER (City, State)	MODEL	Type of CPU	Number of bits	Total system I/O	Total local I/O	Total remote I/O	Relay ladder logic	High level language	No. of instructions	PIO capabilities	Motion control	Documentation	PC data highway	Serial port	User memory
ADATEK, INC. (Simpson, ID)	CPT3A	N58073	16	240	48	216	YES	YES	N/A	YES	YES	YES		YES	
	CPT3P	N58073	16	240	48	216	YES	YES	8	YES	YES	YES		YES	
	System 1	N56073	8	48	24	24	YES	YES	85			YES			5k
	System 2	N58073	8	74C	24	216	YES	YES	38			YES			5k
	System 3	N56073	8	288	24	264	YES	YES	20	YES	YES	YES	YES	YES	4k
ALLEN-BRADLEY CO. IND'L CONTROLS DIV. (Milwaukee, WI) PC BUSINESS SYS. DIV. (Highland Hts., OH)	8001	8001	8	32	32	0	YES		18						664
	PLC-A Microlog	8031	8	288	32	32	YES		20			YES	YES	YES	>4k
	Mini-PLC-2	250A	8	128	128	0	YES		28	YES	YES	YES	YES	YES	1k
	PLC-2/15	260A	8	128	128	0	YES	YES	11	YES	YES	YES	YES	YES	2k
	PLC-2/20	AMD2900	8	192	896	112	YES		23	YES	YES	YES	YES	YES	5k
	PLC-2/30	AMD2900	8	192	896	112	YES	YES	50	YES	YES	YES	YES	YES	10k
	PLC-3	AMD2900	8	512	4096	512	YES	YES	74	YES	YES	YES	YES	YES	960k
AMICON ELECTRONIC CONTROL CORP. (West Chicago, IL)	1000	8065	8	32	32		YES	CPT	17						256
	900	8065	8	104	104		YES	CPT	17	YES	YES	OPT	YES	YES	2k
	800	8065	8	978	120	258	YES	CPT	17	YES	YES	OPT	YES	YES	10k
APPLIED SYS. CORP. (St. Clair Shores, MI)	ASC 30	8051	8	256	256	256	YES	YES	24	OPT	OPT	OPT	YES	YES	16k
ASEA IND'L SYST., INC. (Waukegan, WI)	Masterpac 010	8084	8	40	40				20						300
	Masterpac 100	86000	8	128	128			YES	17	YES		YES	YES	YES	40k
	Masterpac 200	88000	16	3600	1300	3800		YES	17	YES	YES	YES	YES	YES	800k
AUGUST SYS. (Salem, OR)	TRIGARD	8088	16	1200	1200	1200	YES	YES	20			YES	YES	YES	50k
AUTOMATION SYS., INC. (E. Chicago, IA)	PLC-2	MFR OWN	4	128	128		YES	YES	4k		YES	YES	YES	YES	32k
	PLC-4	MFR OWN	16	2048	2048		YES	YES	4k	YES	YES	YES	YES	YES	160k

Programmable Controllers

MANUFACTURER (City, State)	MODEL	Type of CPU	Number of bits	Total system I/O	Total local I/O	Total remote I/O	Relay ladder logic	High level language	No. of instructions	PLC capabilities	Motion control	Documentation	PLC data highways	Serial port	User memory	
BARBER-COLMAN CO. IND'L. INST. DIV. (Rockford, IL)	MACO III B MACO III B AMD EDAG	8088A	8	180	180		YES	YES	8							
		8088A	8	180	180		YES	YES	8			YES	YES			
		878CA	8	284	284		YES	YES	44	YES		YES	YES	YES		
CINCINNATI-MILACR., INC. ELECTR. SYS. DIV. (Ladue, OH)	ACRAMATIC APC-1 ACRAMATIC APC-2	8008	16	512	512		YES		48	YES	YES	YES		YES	YES	
		8008	16	2048	2048		YES	YES	4	YES	YES	YES		YES	YES	
CONRAC CORP. CRAMER DIV. (Old Saybrook, CT)	TROLL 207 TROLL 300 TROLL 310	8800	8	8	8		YES		29						2K	
		8903	8	192	84	128	YES	YES	47	FUT		FUT	YES	YES	8K	
		8903	8	192	84	128	YES	YES	47	FUT		FUT	YES	YES	8K	
DIVELEBS CORP. (Fridenstown, OH)	BEAR BONES CM320A	MC14500	1	248	248		YES	YES	5			YES		OPT	1K	
		MC14500	1	250	250		YES	YES	5			YES		OPT	1K	
DYNAGE, INC. (E Hartford, CT)	MPC-8-01 MPC-8-02 CMS-2001	3000	8	2176	2176	2176	YES	YES	48		OPT	OPT	YES	YES	40K	
		3000	8	2176	2176	2176	YES	YES	63	YES	OPT	OPT	YES	YES	40K	
		8902	8	2176	2176	2176	YES	YES	22	YES	OPT	OPT	YES	YES	32K	
GULF - WESTERN MFG. CO. EAGLE SIGNAL DIV. (Austin, TX)	EPTAK 210 EPTAK 220 EPTAK 240 EPTAK 700	8048	8	32	32		YES		38			YES	YES	YES	2K	
		8048	8	128	28		YES		41			YES	YES	YES	4K	
		8061	8	128	28		YES		50	YES	YES	YES	YES	YES	8K	
		8062A	8	2048	2048		YES	YES	238		YES	YES	YES	YES	48K	
EATON CORP. CONTROL COMP. DIV. (Milwaukee, WI)	CUTLER-HAMMER MPC-1 COUNT CTLS. SYS. DIV. (Wauwatosa, WI)	DURANT 8500 DURANT 8550	8031	8	128	128	96	YES		4		YES	YES		YES	2K
			802	8	96	96	84		YES	222		YES	YES	YES	YES	
			802	8	96	96	84		YES	222		YES	YES	YES	YES	
EMCC - GEC (Mecon, GA)	MINKEM GEM 80-100-2K GEM 80-100-8K GEM 80-100-12K GEM 80-130-4K GEM 80-130-12K GEM 80-228 GEM 80-238 GEM 80-248 GEM 80-290	8088	8	64	64		YES	YES	30			YES	YES	YES	2K	
		8088	8	3084	512	3872	YES		24			YES	YES	YES	2K	
		8088	8	3084	512	3872	YES		24			YES	YES	YES	2K	
		8088	8	3084	512	3872	YES		22			YES	YES	YES	2K	
		8088	8	3084	512	3872	YES		42	YES		YES	YES	YES	8K	
		8088	8	3084	512	3872	YES		43	YES		YES	YES	YES	12K	
		8088	8	3084	512	3872	YES	YES	103	YES	YES	YES	YES	YES	48K	
		8088	8	3072	512	3584	YES	YES	103	YES	YES	YES	YES	YES	48K	
		8088	8	3072	512	3584	YES	YES	103	YES	YES	YES	YES	YES	48K	
		8088	8	7168	1024	8144	YES	YES	131	YES	YES	YES	YES	YES	YES	128K
ENCODER PROD. CO. (Sandport, ID)	EPC-7	886073	8	1120	96	124		YES	5		YES	YES		YES	28K	
ENERTRON IND., INC. (Garbort, NY)	SK-1500 SK-2100	8802	8	84	32	32	YES	YES	4		YES				1K	
		8802	8	256	256		YES		4		YES				1K	
FESTO CORP. (Hauppauge, NY)	FPC	4870CA	2	512	512		YES	YES	90			YES		YES	8K	
THE FOXBORO CO. (Foxboro, MA)	FOX 3PC1 FOX 3PC2	8088	8	512	512		YES		45	YES	YES	YES	YES	YES	41	
		8088	8	2048	2048		YES		4	YES	YES	YES	YES	YES	57	
FURNS ELECTRIC (Batesville, LA)	PC-364	28CA	8	256	256		YES	YES	21			YES	YES	YES	2K	

Programmable Controllers

MANUFACTURER (City, State)	MODEL	Type of CPU	Number of bits	Total systems I/O	Total local I/O	Total remote I/O	Relay ladder logic	High level language	No. of instructions	IO capabilities	Motion control	Documentation	PC data highway	Serial port	Upper assembly	
QTE ELECT. CTL. OPER. QTE PROD. CORP. (Waltham, MA)	SYLVANIA HR 1110 SYLVANIA HR 1111 SYLVANIA MECA MC-2 SYLVANIA MECA MC-4 SYLVANIA MECA MC-8 SYLVANIA MECA MC-16	8039	8	12	12		YES	YES	51					YES	2k	
		8039	8	24	24		YES	YES	51					YES	2k	
		8039	8	96	96		YES	YES	51					YES	2k	
		8039	8	96	96		YES	YES	51			YES	YES	YES	YES	2k
		8031	8	96	96		YES	YES	51	YES	YES	YES	YES	YES	YES	2k
		8031	8	55.5k	274	55.5k	YES	YES	47	YES	YES	YES	YES	YES	YES	2k
GENERAL ELEC. CO. IND'L. CONTROL DEPT. (Charlotteville, VA)	SERIES SIX 60 SERIES SIX 600 SERIES SIX 6000 SERIES ONE SERIES THREE	AMD2903	16	512	512	512	YES	YES	78	YES	YES	YES	YES	YES	4k	
		AMD2903	16	2000	2000	2000	YES	YES	78	YES	YES	YES	YES	YES	8k	
		AMD2903	16	4000	4000	4000	YES	YES	78	YES	YES	YES	YES	YES	32k	
		Z80A	16	112	112		YES		18			YES	FUT	FUT	FUT	1700
		Z80A	16	400	400	FUT	YES		48	FUT		YES	FUT	FUT	FUT	4908
GIDDINGS & LEWIS, INC. ELECTR. DIV. (Fond du Lac, WI)	PC400 PC419 PC409	8600	8	3056	2032	1024	YES	YES	104	YES	YES	YES	YES	YES	32k	
		8600	8	124	232	124	YES	YES	124	YES	YES	YES	YES	YES	40k	
		8600	8	3056	2032	1024	YES	YES	104	YES	YES	YES	YES	YES	40k	
GOULD, INC. ELECTR. SYS. GROUP (Andover, MA)	MODICON MICRO 84 MODICON 484 MODICON 584M MODICON 584L MODICON 584	Z8	8	64	64		YES		9				YES	YES	0.5k	
		81300	5	512	512		YES		16				YES	YES	4k	
		AMD2901	16	2048	2048	2048	YES	YES	32	YES	YES	YES	YES	YES	16k	
		AMD2901	16	512	2048	512	YES	YES	32	YES	YES	YES	YES	YES	32k	
		8086	16	256	256		YES		35			YES	YES	YES	YES	3.5k
HONEYWELL, INC. PROCESS CONT. DIV. (Fort Washington, PA)	820-10 820-15 820-20 820-30	8609	8	256	256		YES	YES	19		YES	YES	YES	YES	2k	
		8609	8	256	256		YES	YES	32	YES	YES	YES	YES	YES	2k	
		8609	8	512	512	512	YES	YES	32	YES	YES	YES	YES	YES	5k	
		8609	8	2048	2048	536	YES	YES	49	YES	YES	YES	YES	YES	24k	
IDEC IZUMI IDEC SYS. & Ctls. CORP. (Santa Clara, CA)	PLE-30R FA-1 PLB-48R	8065	8	30	30		YES		10						1k	
		8021	5	75	125	124	YES		15			FUT	FUT	FUT	4k	
		8065	8	64	64		YES		19						1k	
INCON ELECT., INC. (Mississauga, ON)	C-644 C-803 C-600	8602	8	64	32	32	YES		16		YES			OPT	1k	
		8602	8	90	50	90	YES		16			YES		YES	2k	
		8602	8	18	18		YES		18					OPT	1k	
INCOHIX CORP. (Natick, MA)	CONTROL LOGIC CINCH CONTROL LOGIC CINCH-PAC	Z80A	8	1878	1878	1878	YES	YES	128	YES	YES	YES	YES	YES	32k	
		8031	5	9000	32	368	YES	YES	42	YES	YES	YES	YES	YES	24k	
IND'L. SOLID STATE Ctls. (York, PA)	820-10 820-15 820-20 820-30	8608	8	256	256		YES	YES	19		YES	YES	YES	YES	2k	
		8608	8	256	256		YES	YES	32	YES	YES	YES	YES	YES	2k	
		8608	8	512	512	512	YES	YES	32	YES	YES	YES	YES	YES	8k	
		8609	8	2048	2048	1936	YES	YES	49	YES	YES	YES	YES	YES	24k	
KLOCKNER-MOELLER CORP. (Natick, MA)	SUCOS PS21 SUCOS PS22 SUCOS PS24	MFR OWN	16	56	56		YES	YES	24		YES	YES				
		MFR OWN	16	1024	1024	1024	YES	YES	24		YES	YES				
		MFR OWN	16	2048	2048	2048	YES	YES	24		YES	YES				
		MFR OWN	16	2048	2048	2048	YES	YES	24		YES	YES				

Programmable Controllers

MANUFACTURER (City, State)	MODEL	Type of CPU	Number of bits	Total system I/O	Total local I/O	Total remote I/O	Heavy ladder logic	High level language	No. of instructions	PG capabilities	Motion control	Documentation	PC data highway	Serial port	User memory	
MAXITRON CORP. (Salem, NH)	DAC-27	MFC/DWN	8	5C	5C		YES	ES	2C						15k	
	DAC-47	MFC/DWN	8	256	256		YES	YES	20	ES		YES	YES	YES	16k	
	DAC-67	MFC/DWN	16	512	512	512	YES	ES	50	ES	YES	YES	YES	YES	34k	
	DAC-87	MFC/DWN	16	2048	2048	2048	ES	ES	5C	ES	ES	YES	YES	YES	256k	
	DAC-107	MFC/DWN	16	8384	8384	8384	ES	ES	50	ES	ES	YES	YES	YES	768k	
MTS SYSTEMS CORP. (Minneapolis, MN)	INCOL 470		3085	8	255	306C		ES	28		YES	YES		YES	5k	
McGILL MFG. CO. ELEC. DIV. (Vesper, Ind. IN)	1701		3677D	8	512	512	YES		11		YES	YES			4k	
	Quantum 2000		3874	8	472	472	YES		11		YES	YES		YES	2k	
MITSUBISHI ELECTRIC (Compton, CA)	F20M		5048	8	40	40	YES		74			YES			320	
	F40M		5039	8	50	50	YES		4			YES			190	
	K0J		5055A2	8	58	58	YES		28		YES	YES		YES	2k	
	K2		5055A2	8	512	USER	DEF	YES	ES	28	YES	YES	YES	YES	YES	4k
	K3		5055A2	8	2048	USER	DEF	YES	ES	28	YES	YES	YES	YES	YES	16k
MODULAR COMPUTER SYSTEMS, INC. (Fort Lauderdale, FL)	MODCOMP-APC/5		CLU 15	16	45k	2048	45k	YES	YES	84	YES	YES	YES	YES	YES	512k
MODULAR SYSTEMS RESEARCH (Tucson, AZ)	AC-2200	NS-6032	32	256	256			ES	N/A	YES	YES	YES	YES	YES	256k	
	IAC-4500	NS-6032	32	360	360			ES	N/A	YES	YES	YES	YES	YES	512k	
	IAC-5300	NS-6032	32	120k	120k			ES	N/A	YES	YES	YES	YES	YES	8M	
NAVCOM, INC. (Huron, OH)	Force 1 F20A		19C2	8	20	20	YES	ES	22			YES	YES	YES	50	
	Force 1 F10A		1902	8	10	10	YES	ES	22			YES	YES	YES	50	

APENDICE 3.

Especificaciones de Diseño del Sistema.

Al diseñar el equipo que este texto presenta, se consideraron las siguientes especificaciones que sirvieron para la selección de los circuitos electrónicos y para la definición de las diferentes subrutinas del programa controlador. La evaluación del equipo busca comparar estos datos contra los reales para verificar su aplicabilidad en el ámbito industrial. El hecho de que en el capítulo seis hayan salido resultados diferentes, se debe en parte a que las pruebas se realizaron sobre prototipo y en parte a discrepancias en los datos técnicos del fabricante de los dispositivos utilizados.

A3.1 Especificaciones Eléctricas.

- Alimentación:
 - Voltaje: 120 Vac
 - Frecuencia: 50-60Hz
 - Corriente: Hasta 3A.
- Entrada: 10 mV/ °C, Incluye tarjeta interfase de amplificación instrumental para termopar tipo "J" con compensación de temperatura ambiente por diodo polarizado en inversa.
- Tipo de Salida: Relevador de dos posiciones de hasta 1A a 127V. con respuesta mínima de 20mS. Las alarmas se manejan con relevadores de las mismas características.
- Algoritmo de Operación: ON/OFF ó Proporcional por ráfaga, Con dos alarmas de histéresis programable.
- Banda Proporcional: Programable de 0 a 99%
- Constante de Reset: Programable de -99.9 a 99.9°C.
- Ciclo de Tiempo: Programable de 1 a 180 Segundos
- Rango de Lectura Permisible: -6 a 1190°C.
- Rango Físico del Termopar "J" : 0 a 760°C.
- Tipos de Fallas Detectables: Falla en memoria, error de datos, error de algoritmo, fuera de rango, termopar quemado, ruido en la línea.
- Protección contra fallas: Autopruebas permanentes y repetibles cada reprogramación, swicheo de la salida a encendido o apagado según programación.

A3.2 Condiciones de Operación.

- **Temperatura Ambiente:**
 - De referencia: 25°C.
 - De operación: de 0 a 40°C.
 - De almacenamiento y transporte: -40 a 60°C.
- **Vibración:**
 - Frecuencia de referencia: 0 Hz.
 - Frecuencia de operación: 0 a 70Hz
 - Frecuencia de transporte y almacenamiento: 0 a 100Hz.
 - Aceleración de referencia: 0G.
 - Aceleración de operación: 0 a 0.1G
 - Aceleración de transporte y almacenamiento: 0 a 0.2G
- **Humedad: 0 a 90% sin condensación.**

APENDICE 4.

Datos Técnicos de Algunos Dispositivos Utilizados.

En este apéndice se presentan las hojas de datos técnicos que proporcionan los fabricantes de los dispositivos no comunes utilizados. Cabe hacer notar que los datos que aquí se incluyen no necesariamente corresponden a la misma marca comercial pero siempre serán cuando menos los equivalentes.

Las especificaciones de los circuitos integrados de la familia TTL no se incluyen ya que esta información es de fácil acceso en cualquier referencia técnica. Por otra parte, la información referente al microprocesador y al CTC de la familia Z80 fue incluida como parte del texto del capítulo 3, las instrucciones del microprocesador se listan en el apéndice 6.

A4.1 ULN2003A

HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

The seven NPN Darlington-connected transistors in these arrays are well suited for driving lamps, relays, or printer solenoids in a variety of industrial and consumer applications. Their high break-down voltage and internal suppression diodes insure freedom from problems associated with inductive loads. Peak inrush currents to 500 mA permit them to drive incandescent lamps.

The MC1411 device is a general-purpose array for use with DTL, TTL, PMOS, or CMOS Logic. The MC1412 contains a zener diode and resistor in series with the input to limit input current for use with 14 to 25 Volt PMOS Logic. The MC1413 with a 2.7 k Ω series input resistor is well suited for systems utilizing 5 Volt TTL or CMOS Logic. The MC1416 uses a series 10.5 k Ω resistor and is useful in 8-18 Volt MOS systems.

DEVICE CROSS-REFERENCE LISTING

- 9665 — SN75476* — ULN2001A — order MC1411P
- 9666 — SN75477 — ULN2002A — order MC1413P
- 9667 — SN75478 — ULN2003A — order MC1415P
- 9668 — — ULN2004A — order MC1416P

*Similar



P-SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-05

PERIPHERAL DRIVER ARRAYS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C and rating apply to any one device in the package unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	V _O	50 ¹	V
Input Voltage (Except MC1411)	V _I	30	V
Collector Current — Continuous	I _C	500	mA
Base Current — Continuous	I _B	75	mA
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to +85	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +150	°C
Junction Temperature	T _J	150	°C

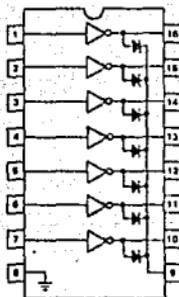
¹Maximum Package Power: Dissipation (See Thermal Information Section)
²Higher voltage selection available. See your local representative.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Leakage Current (V _O = 50 V, T _A = +70°C) (V _O = 50 V, T _A = +25°C) (V _O = 50 V, T _A = +70°C, V _I = 8.0 V) (V _O = 50 V, T _A = +70°C, V _I = 1.0 V)	I _{CEX}	—	—	100 50 500 500	μ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 350 mA, I _B = 500 μ A) (I _C = 200 mA, I _B = 350 μ A) (I _C = 100 mA, I _B = 250 μ A)	V _{CE(sat)}	—	1.1 0.95 0.85	1.8 1.3 1.1	V
Input Current — On Condition (V _I = 12 V) (V _I = 3.85 V) (V _I = 5.0 V) (V _I = 12 V)	I _{ION}	—	0.85 0.33 0.35 1.0	1.3 1.35 0.5 1.45	mA
Input Voltage — On Condition V _{CE} = 2.0 V, I _C = 300 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 200 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 150 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 100 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 125 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 200 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 275 mA) V _{CE} = 2.0 V, I _C = 350 mA)	V _{I(on)}	—	—	13 2.4 2.7 3.0 5.0 6.0 7.0 8.0	V
Input Current — Off Condition (I _C = 500 μ A, T _A = +70°C)	I _{I(off)}	50	100	—	μ A
DC Current Gain (V _{CE} = 2.0 V, I _C = 350 mA)	h _{FE}	1009	—	—	—
Input Capacitance	C _i	—	15	30	pF
Turn-On Delay Time (50% E _i to 50% E _o)	t _{ON}	—	0.25	1.0	μ s
Turn-Off Delay Time (50% E _i to 50% E _o)	t _{OFF}	—	0.25	1.0	μ s
Clamp Diode Leakage Current (V _B = 50 V)	I _R	—	—	50 100	μ A
Clamp Diode Forward Voltage (I _R = 350 μ A)	V _F	—	1.5	2.0	V

¹Higher voltage selections available, contact your local representative.

PIN CONNECTIONS



A4.2 TIP 2N2955

Descripción:

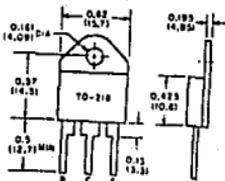
- Transistor Bipolar PNP de Silicio.

Condiciones Límite:

- Disipación de Potencia (P_T): 125W.
- Corriente Continua del Colector (I_C): -25A.
- Corriente Máxima de Pico (I_{CM}): -40A.
- Voltaje Máximo Colector Base (V_{CBO}): -100V
- Voltaje Máximo Colector Emisor (V_{CEO}): -100V
- Voltaje Máximo Emisor Base (V_{EBO}): -5V.

Características:

- Ganancia Típica (h_{FE}): > 25.
- Voltaje Colector Emisor Típico (V_{CE}): -4V.
- Corriente Típica del Colector (I_C): -1.5A.
- Ancho de Banda Típico (f_T): 3MHz.
- Formato: TO-218 (Ver figura)



T-047

Dimensions in inches (millimeters).

All dimensions are max. unless otherwise indicated.

A4.3 OP-27.

ULTRA-LOW NOISE PRECISION, HIGH SPEED
OPERATIONAL AMPLIFIERS

The OP-27 and OP-37 are a series of monolithic operational amplifiers which combine low-noise, precision dc performance and wide bandwidth all in one device. Advanced Bipolar processing and innovative design techniques have produced the lowest noise precision operational amplifier in the industry. These devices are trimmed for extremely low initial input offset voltage by utilizing a highly stable and reliable zener zap technique during factory testing which yields guaranteed V_{IO} limits as tight as 25 μ V. A unique input bias current cancellation scheme maintains low I_{IB} and I_{IO} to typically ± 70 nA and 15 nA respectively over the full military temperature range. Other sources of input errors are reduced in excess of -120 dB due to extremely high common-mode and power supply rejection ratios.

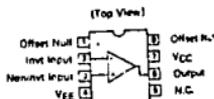
Also impressive, are the slew rate and bandwidth of these devices. The OP-27 has a gain bandwidth product of 80 MHz and slow rate of 2.8 V/ μ s. While the OP-37 provides a 63 MHz gain bandwidth product and 17 V/ μ s slow rate for applications with closed loop gains ≥ 5 .

The precision, low noise and high speed characteristics of these devices make them ideal for amplifying transducer signals, RAA phone, NAB tape head and microphone preamplifiers, wide band instrumentation amplifiers and high speed signal conditioning for data acquisition systems.

- Extremely Low-Noise — 3.0 nV/ \sqrt{Hz} at 1.0 kHz
80 nV/p-p, 0.1 Hz to 10 Hz
- Low Initial Input Offset Voltage — 10 μ V
- Ultra Stable Input Offset Voltage — 0.2 μ V/mo.
- Wide Gain Bandwidth Product and High Slew Rate.
OP-27 — 80 MHz, 2.8 V/ μ s
OP-37 — 63 MHz, 17 V/ μ s
- High Open-Loop Gain — 1.8 Million
- High Common-Mode Rejection — 126 dB
- Replaces OP-05, OP-06, OP-07, AD510, AD517, μ A725 and NE563A



1
P BUFFET
PLASTIC PACKAGE
CASE 628-04
2 SLITFL
CERAMIC PACKAGE
CASE 891-02

ULTRA-LOW NOISE
PRECISION, HIGH SPEED
OPERATIONAL AMPLIFIERS
SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	+22	V
	V_{EE}	-22	V
Input Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	+22	V
Differential Input Voltage (Note 2)	V_{ID}	± 0.7	V
Differential Input Current (Note 2)	I_{ID}	± 75	mA
Output Short-Circuit Duration	t_s	Indefinite	
Power Dissipation and Thermal Characteristics			
Plastic Package (P Suffix) $T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D	500	mW
Derate above $T_A = +62^\circ\text{C}$	1RJA	3.8	mW/ $^\circ\text{C}$
Ceramic Package (Z Suffix) $T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D	500	mW
Derate above $T_A = +75^\circ\text{C}$	1RJA	6.7	mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature	T_A		$^\circ\text{C}$
OP-27 and OP-37 A, B and C Grades		-54 to +125	
OP-27 and OP-37 E, F and G Grades (Ceramic Package)		-25 to +85	
OP-27 and OP-37 E, F and G Grades (Plastic Package)		0 to +70	
Junction Temperature	T_J	+150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}		$^\circ\text{C}$
Ceramic Package		-85 to +150	
Plastic Package		-85 to +125	

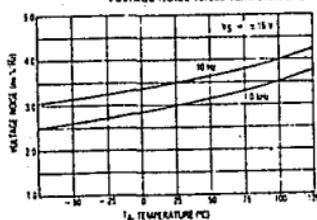
NOTES:

- For supply voltage less than ± 22 V, the absolute maximum input voltage range is equal to the supply voltage.
- The inputs are protected by back-to-back diodes. Current limiting resistors are not used in order to achieve low noise. If differential input voltage exceeds ± 0.7 V, the input current must be limited to 25 mA.

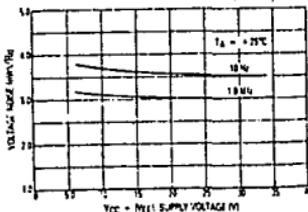
ORDERING INFORMATION

Slew Rate	Device			Temperature Range	Package
	$V_{IO} \approx 25 \mu\text{V}$	$V_{IO} \approx 80 \mu\text{V}$	$V_{IO} \approx 100 \mu\text{V}$		
≥ 1.7 V/ μ s	OP-21AZ	OP-270Z	OP-27CZ	-55 to +125 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
	OP-27EZ	OP-27FZ	OP-27GZ	-25 to +85 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
	OP-27EP	OP-27FP	OP-27GP	0 to +70 $^\circ\text{C}$	Plastic DIP
≥ 11 V/ μ s	OP-37AZ	OP-37BZ	OP-37CZ	-55 to +125 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
	OP-37EZ	OP-37FZ	OP-37GZ	-25 to +85 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
	OP-37EP	OP-37FP	OP-37GP	0 to +70 $^\circ\text{C}$	Plastic DIP

VOLTAGE NOISE versus TEMPERATURE



- VOLTAGE NOISE versus SUPPLY VOLTAGE



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = -25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	OP-21AC/OP-31A/OP-31AF			OP-21B/OP-31B/OP-31BF			OP-21C/OP-31C/OP-31CF			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	V_{IO}	—	10	75	—	30	90	—	30	100	μV
Long Term Input Offset Voltage Drift (Note 3)	V_{IO}^{Δ}	—	0.2	1.0	—	0.3	1.8	—	0.4	2.0	$\mu\text{V}/\text{mo}$
Input Offset Current	I_{IO}	—	7.0	35	—	9.0	50	—	12	75	nA
Input Bias Current	I_B	—	± 10	± 40	—	± 12	± 50	—	± 18	± 80	nA
Input Noise Voltage 0.1 to 10 Hz (Note 4)	e_{np-p}	—	0.06	0.18	—	0.08	0.18	—	0.09	0.28	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Noise Voltage Density $f_c = 10\text{ Hz}$ $f_c = 30\text{ Hz}$ $f_c = 1000\text{ Hz}$ (Note 4)	e_n	—	3.6	8.8	—	3.5	8.5	—	2.8	8.0	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Noise Current Density $f_c = 10\text{ Hz}$ $f_c = 30\text{ Hz}$ $f_c = 1000\text{ Hz}$ (Note 4)	i_n	—	1.7	4.0	—	1.7	4.0	—	1.7	—	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Resistance — Differential Mode	r_i	1.8	6.0	—	1.2	5.0	—	0.8	4.0	—	$\text{M}\Omega$
Input Resistance — Common Mode	R_{iCM}	—	3.0	—	—	2.5	—	—	2.0	—	$\text{G}\Omega$
Input Voltage Range	V_{in}	± 11.0	± 12.2	—	± 11.0	± 12.2	—	± 11.0	± 12.2	—	V
Common Mode Rejection Ratio $V_{CM} = \pm 11\text{ V}$	CMRR	114	128	—	108	122	—	100	120	—	dB
Power Supply Rejection Ratio $V_S = \pm 4.0\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	PSRR	100	120	—	100	120	—	94	114	—	dB
Large-Signal Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_O = \pm 10\text{ V}$ $R_L = 1.0\text{ k}\Omega$, $V_O = \pm 10\text{ V}$ $R_L = 800\ \Omega$, $V_O = \pm 10\text{ V}$ $V_S = \pm 4.0\text{ V}$	A_{VOL}	1000 800	1800 1500	—	1000 800	1800 1500	—	700 1500	1500 1500	—	V/mV
Output Voltage Swing $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $R_L = 800\ \Omega$	V_O	± 12 ± 10	± 13.8 ± 11.5	—	± 12 ± 10	± 13.8 ± 11.5	—	± 11.5 ± 10	± 12.5 ± 11.8	—	V
Slew Rate, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ OP-27, OP-34 OP-27, OP-34	SR	1.7 11	2.9 17	—	1.7 11	2.9 17	—	1.7 11	2.8 17	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
Gain Bandwidth Product OP-27, OP-34 OP-27, OP-34, $A_V = 8.0$ $f_c = 10\text{ kHz}$ $f_c = 1.0\text{ MHz}$	GBW	8.0 4.5	8.0 63	—	8.0 4.5	8.0 63	—	8.0 4.8	8.0 63	—	MHz
Open Loop Output Resistance $V_O = 0$, $I_O = 0$	r_o	—	70	—	70	—	70	—	70	—	Ω
Power Dissipation $V_O = 0$, No Load	P_D	—	90	140	—	90	140	—	100	170	mW
Offset Adjustment Range $R_p = 10\text{ k}\Omega$		—	± 4.0	—	± 4.0	—	± 4.0	—	± 4.0	—	mV

NOTES (continued)

- 3 Long term input offset voltage stability for the OP-27 and OP-31 series refers to the average trend line of V_{IO} versus time when referenced periods span the first 30 days of observation. Following the first hour of observation, changes in V_{IO} during the first 30 days are typically 2:3.
- 4 Sample tested.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , $I_{IN} = 50$)

Characteristic	Symbol	OP-27A OP-37A			OP-27B OP-17B			OP-27C OP-17C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	V_{IO}	—	30	60	—	50	200	—	70	300	μV
Average Input Offset Drift (Note 3)	TCV_{IO}	—	0.2	0.8	—	0.3	1.3	—	0.4	1.8	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	I_{IO}	—	18	30	—	22	95	—	30	135	nA
Input Bias Current	I_B	—	± 20	± 80	—	± 28	± 95	—	± 28	± 150	nA
Input Voltage Range	V_{in}	± 10.3	± 11.8	—	± 10.3	± 11.8	—	± 10.2	± 11.8	—	V
Common Mode Rejection Ratio $V_{CM} = \pm 10\text{ V}$	CMRR	108	122	—	100	118	—	94	118	—	dB
Power Supply Rejection Ratio $V_S = \pm 5\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	PSRR	96	114	—	94	114	—	84	108	—	dB
Large-Signal Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_O = -10\text{ V}$	A_{VOL}	600	1200	—	500	1000	—	300	800	—	V/mV
Output Voltage Swing $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$	V_O	± 11.5	± 13.8	—	± 11.0	± 12.2	—	± 10.5	± 13.0	—	V

A4.4 Termómetro. de Resistencia Eléctrica.

Platinum Resistance Thermometer Detector

Honeywell Specification

Function

Platinum Resistance Detectors (RTD's) (Figure 1) accurately measure temperature variations over a range from -185 to 650°C (-300 to 1200°F). As the temperature changes, resistance of the platinum wire changes linearly, and this relationship remains very stable over time. RTD sensors can be used with any measuring or controlling instrument having a Wheatstone bridge type measuring circuit.

Description

Detector Assemblies

A variety of detector assemblies (Figure 1), including plain, general purpose and spring loaded types are available to meet different mounting requirements.

Spring loaded assembly ensures positive metal to metal contact between bulbs and well, providing improved heat transfer and vibration endurance. The bulb is easily installed or moved through the head without disconnecting head or well.

To reduce the effect of leadwire resistance between the RTD and instrument, platinum RTD assemblies are always supplied for use in 3-wire (copper) systems but can be used in a 2-wire manner if the application permits.

Detector Elements

The sensitive portion of a 100 ohm element is a spool of platinum wire approximately 3 mm (0.1 inch) in diameter and 13 mm (0.5 inch) in length located at the tip of the RTD assembly.

200 and 500 ohm elements are also available. They have larger spools to handle the added wire since the resistance change per degree of temperature change is increased two or five times respectively.

Narrow Temperature Span

100 ohm bulbs are suitable for spans as low as 67°C (120°F); 200 ohm bulbs are suitable for spans as low as 33°C (60°F).

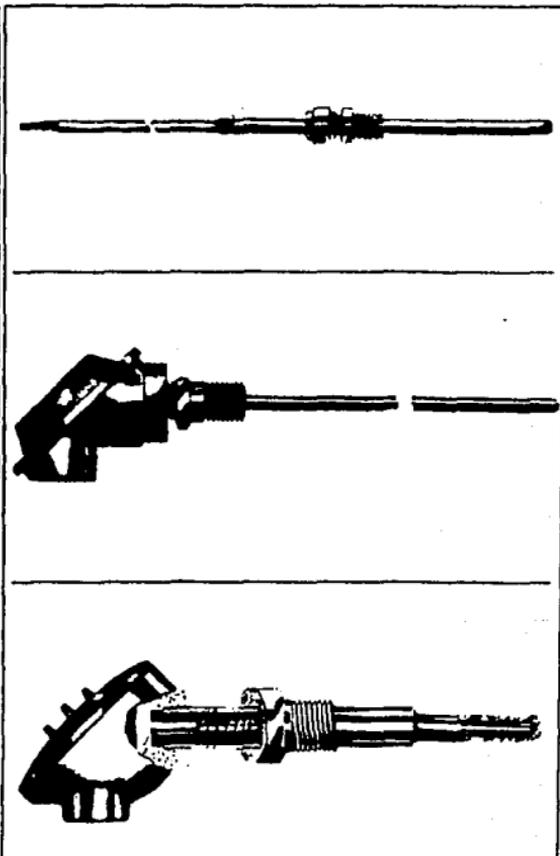


Figure 1 — Typical Platinum Resistance Bob Assemblies

Specifications

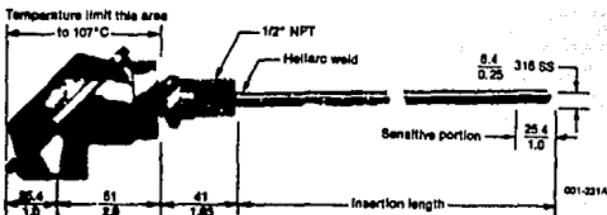
Element Resistance	100 ohms or 200 ohms at 0°C (32°F).
Accuracy	±3/4°F or 1/2% of the temperature being measured whichever is greater over range of -185°C to 650°C (-300°F to 1200°F).
Repeatability	±0.05°C over range of -18°C to 480°C. ±0.1°F over range 0°F to 900°F. ±0.1% of span for other temperature ranges.
Temperature Limits	Standard Limits: -185°C to 480°C (-300°F to 900°F) with element enclosed in type 316 SS sheath. Type "G" maximum, 204°C (398°F). Extended Limits: -185°C to 650°C (-300°F to 1200°F) with element enclosed in an inconel® sheath.
Time Constant	Five seconds for a 63.2% response to a step change in temperature in water moving at one metre (three feet) per second.
Sheath Material	Standard Range: Type 316 stainless steel. Extended Range: Inconel for temperatures to 650°C (1200°F).
Pressure Rating	20.47 MPa (3000 psi) standard.

Assembly Types

Dimensions: $\frac{\text{millimetres}}{\text{inches}}$

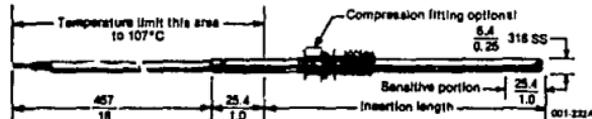
Type "A"

General purpose detector for mounting bare or in a well. Used in tanks, pipes, ovens, lehrs, process vessels, etc. General purpose head is supplied, a screw cover head is optional.



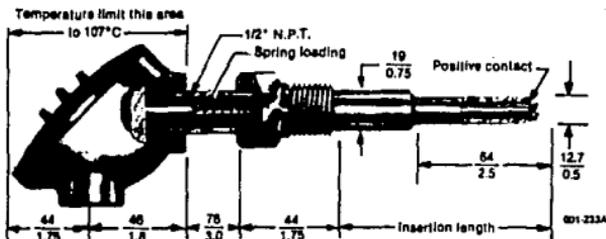
Type "D"

Plain detector with flexible Teflon® cable is a versatile sensor. Compression fittings may be supplied for mounting into molding machines, heated dies, environmental chambers, etc.



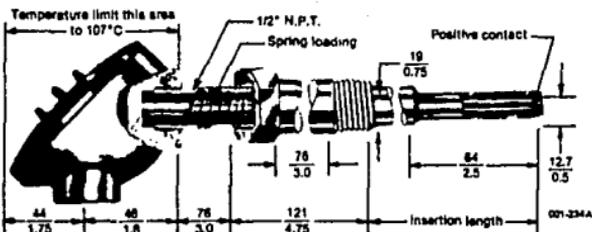
Type "E"

Spring loaded assembly. The spring holds the detector in constant firm contact with the well, ensuring improved heat transfer and vibration endurance. Detector is removable without disconnecting head or well. Screw cover head is supplied as standard.



Type "F"

Spring loaded detector and well which is the same as Type "E" except well has lag of 76 mm (3.0 inches).

**Type "G"**

Plain detector with 64 mm (2.5") sensitive tip and 153 cm (60") Teflon leads.

**Ordering Information****Please specify**

1. Model number from Table below.
2. Options, as required.

Type	Model Number	Insertion Length		Resistance Element ohms (°C)	Optional Selections
		mm	Inches		
A	HP6A1-5-1/2-3A	140	5.5	100	Add prefix "E" to model number to extend range from 480°C to 650°C (900°F to 1200°F). For 200 ohm element, change "1" in model number to "2". For screw cover head, change "B" in model number to "7". Add suffix "D" if dual element bulb is required.
	HP6A1-9-1/2-3A	218	8.5	100	
	HP6A1-11-1/2-3A	292	11.5	100	
	HP6A1-17-1/2-3A	445	17.5	100	
	HP6A1-23-1/2-3A	597	23.5	100	
D	HP0D1-5-1/2-3A	140	5.5	100	Add prefix "E" to model number to extend range from 480°C to 650°C (900°F to 1200°F). For 200 ohm element, change "1" in model number to "2". Add suffix "L" and specify desired lead length for lengths over 457 mm (18 inches). Compression fitting add suffix "C" to model number.
	HP0D1-8-1/2-3A	216	8.5	100	
	HP0D1-11-1/2-3A	292	11.5	100	
	HP0D1-17-1/2-3A	445	17.5	100	
	HP0D1-23-1/2-3A	597	23.5	100	
E	HP7E1-10-1/2-3A*	114	4.5	100	Add prefix "E" to model number to extend range from 480°C to 650°C (900°F to 1200°F). For 200 ohm element, change "1" in model number to "2".
	HP7E1-13-1/2-3A*	191	7.5	100	
	HP7E1-16-1/2-3A*	267	10.5	100	
	HP7E1-22-1/2-3A*	419	16.5	100	
F	HP7F1-13-1/2-3A*	114	4.5	100	Add prefix "E" to model number to extend range from 480°C to 650°C (900°F to 1200°F). For 200 ohm element, change "1" in model number to "2".
	HP7F1-16-1/2-3A*	191	7.5	100	
	HP7F1-19-1/2-3A*	267	10.5	100	
	HP7F1-22-1/2-3A*	343	13.5	100	
G	HPOG1-2-1/2-3B	64	2.5	100	Add suffix L2 to model number for Teflon lead length of 3.05 m (10 feet); longer lengths are available on special order.
	HPOG2-2-1/2-3B	64	2.5	200	
	HPOG22-2-1/2-4A-D**	64	2.5	200	

*Well material must be selected, specify 1 for carbon steel, 2 for 304 SS, and 3 for 316 SS

†Add the selected digit after A in the model number

**This model has 2 elements and 6.35 mm (0.25 inch) sheath diameter

†Trademarks

NOTE:

Add suffix "T" to model number if SS equipment ID Tag is required (all models)

Add suffix "D" to model number for dual element (2 wire/element connections)

Add suffix "C" to model number compression fitting (Type D assemblies only)

Specifications are subject to change without notice.

For more information contact the nearest Honeywell sales office or Honeywell, Process Control Division, 1100 Virginia Drive, Fort Washington, PA 19034. In Canada, Honeywell Limited, 155 Gordon Baker Road, Willowdale, Ontario M2H 3N7

A4.5 Termistores.



NTC THERMISTOR

STANDARD PROBE ASSEMBLIES

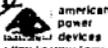
The Fenwal Electronics line of **STANDARD NTC THERMISTOR PROBE ASSEMBLIES** is designed for reliability, low cost, and easy mounting. These probes are suitable for use in Surface, Immersion or Air/Gas sensing applications. In addition to these Standard Probe Assemblies there is an endless variety of probes available to suit virtually any application. Many of these Standard Probes can be manufactured using other Fenwal Electronics NTC Thermistors providing different electrical characteristics. As always Fenwal Electronics staff of design engineers is available to custom design probes to suit your needs.

33AC		SURFACE SENSOR				
PART NUMBER	R ₀ @ 25°C OHMS	TEMP. TOL. OVER TEMP. RANGE	TEMP. RANGE (°C)	R-T CURVE	FOR R-T CURVE SEE PAGE	MAX. TEMP.
590-33AC01-103	10,000	± 0.5°C	0°C TO + 70°C	10,000 Ω	14	150°C
590-33AC02-104	100,000	± 0.5°C	0°C TO + 70°C	100,000 Ω	14	150°C

53AA		IMMERSION SENSOR				
PART NUMBER	R ₀ @ 25°C OHMS	TEMP. TOL. OVER TEMP. RANGE	TEMP. RANGE (°C)	R-T CURVE	FOR R-T CURVE SEE PAGE	MAX. TEMP.
590-53AA01-103	10,000	± 0.5°C	0°C TO + 70°C	10,000 Ω	14	150°C
590-53AA02-104	100,000	± 0.5°C	0°C TO + 70°C	100,000 Ω	14	150°C



Division of Kiodo, Inc.



FENWAL ELECTRONICS / APD

Division of Kiodo, Inc.

KIOIDO

450 Fortune Boulevard, Milford, Massachusetts 01757 U.S.A.
 Telephone: (617) 478-5255 • TELEX 299550 • FAX (617) 473-6035

A4.6 Termopares.

LIMITS OF ERROR FOR STANDARD AND PREMIUM GRADE THERMOCOUPLE WIRE

(A4.6.1) When the limit of error is given in %, the percentage applies to the temperature being measured, not the range.

Type of Wire	Temperature Range	Limits of Error (Select whichever is greater)	
		Standard Grade	Premium Grade
Type I Copper Constantan	-200 to 0°C	±1°C or ±1.5%	±0.5°C or ±0.4%
	0 to 350°C	±1°C or ±0.75%	±0.75°C or ±1%
Type J Iron Constantan	-300 to 32°F	±1.5°F or ±2%	±0.75°F or ±0.3%
	32 to 700°F	±1.5°F or ±0.75%	±1.1°F or ±0.4%
Type E Chromel Constantan	0 to 750°C	±2.2°C or ±0.5%	±1.1°C or ±0.4%
	32 to 1400°F	±4°F or ±0.5%	±2°F or ±0.38%
Type K Chromel Niobium	0 to 750°C	±2.2°C or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%
	32 to 1400°F	±4°F or ±0.75%	±2°F or ±0.38%
Type L Chromel Niobium	0 to 900°C	±1.7°C or ±0.5%	±1°C or ±0.4%
	32 to 1600°F	±3°F or ±0.5%	±2°F or ±0.3%
Type N Nicrosil B Platinum Rhodium	0 to 1250°C	±2.2°C or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%
	32 to 2300°F	±4°F or ±0.75%	±2°F or ±0.38%
Type R S Platinum Rhodium	0 to 1450°C	±1.5°C or ±0.25%	±0.5%
	32 to 2700°F	±3°F or ±0.25%	±0.5%
Type B Platinum 30% Rhodium Platinum 6% Rhodium	800 to 1700°C	±0.5%	±0.5%
	1500 to 3100°F	±0.5%	±0.5%

LIMITS OF ERROR FOR STANDARD AND PREMIUM GRADE EXTENSION WIRE

Type of Wire	Temperature Range*	Limits of Error**	
		Standard Grade	Premium Grade
Type TX Copper Constantan***	-60 to 100°C	±1.0°C	±0.5°C
	-75 to 200°F	±1.5°F	±0.75°F
Type JX Iron Constantan	0 to 200°C	±2.2°C	±1.1°C
	32 to 400°F	±4°F	±2°F
Type LX Chromel Constantan	0 to 200°C	±1.7°C	±1.0°C
	32 to 400°F	±3°F	±2°F
Type KX Chromel Niobium	0 to 200°C	±2.2°C	±1.1°C
	32 to 400°F	±4°F	±2°F
Type SX Platinum Rhodium	24 to 200°C	±5°C †	±1.5% †; ±2.5% ††
	75 to 400°F	±9°F †	

* Limits apply to temperature at connection head and reference junction.

** When the limit of error is given in percent, the percentage applies to the temperature differential between temperatures at the connection head and reference junction.

*** Limits of error apply to measuring junction temperatures above 0°C (32°F).

† Applies only to 4 conductor wire when used with type R thermocouples.

†† Applies only to 4 conductor wire when used with type S thermocouples.

††† Limits of error apply to measuring junction temperatures above 870°C (1598°F).

PROTECTING TUBE RECOMMENDATIONS

Industry	Application	Suggested Tube or Well Material
Heat Treating	Annealing Carburizing Hardening: Up to 1093°C (2000°F) Over 1093°C (2000°F) Leaf Hardening Nitriding Salt Baths: Carburizing (Cyanide) High Speed	<i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> <i>Inconel</i> <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> <i>Sillramic</i> or <i>Radiamatic</i> * <i>Resistat</i> <i>Resistat</i> <i>Inconel</i> or <i>Carbicouple</i> <i>Radiamatic</i> with <i>Sillramic</i> Target Tube
Iron and Steel	Billet, Slab Heating & Butt Welding: Up to 1093°C (2000°F) Over 1093°C (2000°F) Blast Furnaces: Down Corner Stove Dome Stove Outlet Flue Stove Trunk Brazing Bright Annealing: Batch Continuous Forging Furnaces Galvanizing Open Hearths: Flues Stack Checkers Roll Palm Oil Pickling Tanks Soaking Pits: Up to 1093°C (2000°F) Over 1093°C (2000°F) Tinning Vacuum Melting, Induction Melting Up to 1761°C (3200°F) Waste Heat Boilers	<i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> <i>Sillramic</i> and Silicon Carbide, ** <i>Refrax</i> ** or <i>Radiamatic</i> <i>Inconel</i> , <i>Resistat</i> , Silicon Carbide or <i>Refrax</i> Silicon Carbide or <i>Refrax</i> (used below the skew of the stove dome) <i>Resistat</i> <i>Inconel</i> <i>Radiamatic</i> Iron-Constantan Thermocouple—No Protecting Tube Needed <i>Sillramic</i> and Silicon Carbide, <i>Refrax</i> or <i>Radiamatic</i> <i>Sillramic</i> and Silicon Carbide, <i>Refrax</i> , <i>Kanthal</i> or <i>Radiamatic</i> Carbon Steel, Silicon Carbide or <i>Refrax</i> , <i>Inconel</i> LT-1, <i>Inconel</i> or <i>Radiamatic</i> <i>Radiamatic</i> Stainless Steel or <i>Inconel</i> Lead, Silicon Carbide or <i>Refrax</i> (good acid resistance), <i>Inconel</i> , <i>Resistat</i> , Silicon Carbide or <i>Refrax</i> <i>Sillramic</i> and Silicon Carbide, <i>Refrax</i> , or <i>Radiamatic</i> Carbon Steel, <i>Resistat</i> , Silicon Carbide or <i>Refrax</i> (for immersion in tin), Aluminum Oxide <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i>
Non Ferrous Metals	Aluminum (Molten) Aluminum Heat Treating Annealing Billet Heating Babbitt Brass or Bronze (Molten) Copper (Molten) Die Casting Lead	Cast Iron (Whitewashed) or <i>Refrax</i> Carbon Steel Carbon Steel <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> Carbon Steel, <i>Resistat</i> , Silicon Carbide or <i>Refrax</i> LT-1 or <i>Refrax</i> LT-1 Cast Iron (Whitewashed) or <i>Refrax</i> <i>Resistat</i> or <i>Refrax</i>

* For detailed information on *Radiamatic* Pyrometers, write for 23-75-03-03

** Copper and Lead are good applications for Silicon Carbide or *Refrax*. However, the oxides of these may be harmful.

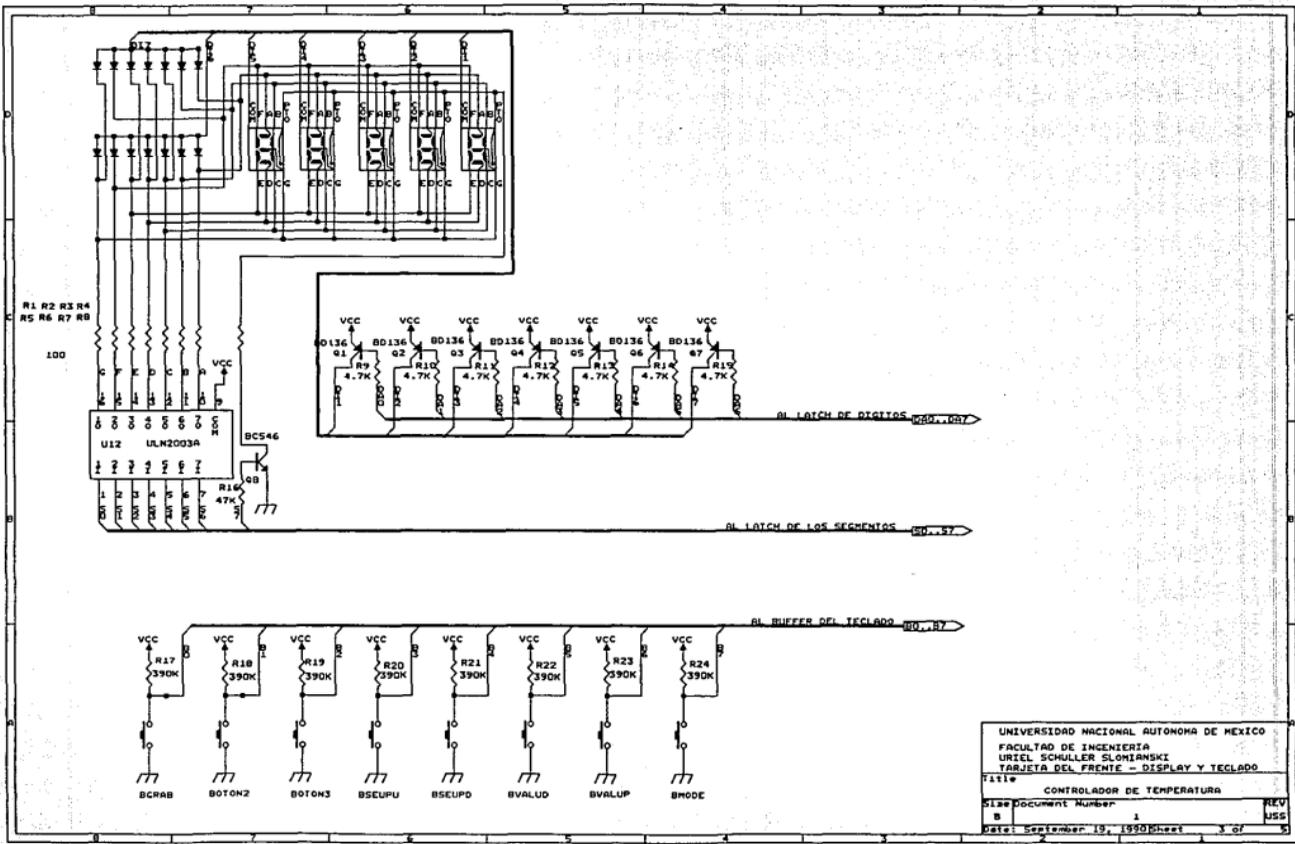
PROTECTING TUBE RECOMMENDATIONS

Industry	Application	Suggested Tube or Well Material
Non Ferrous Metals (Continued)	Magnesium Tin Smelting and Ore Roasters Zinc	Carbon Steel Carbon Steel, Silicon Carbide or <i>Refrax</i> <i>Inconel, Resistat, Siltramic</i> and Silicon Carbide, or <i>Refrax</i> Carbon Steel, Silicon Carbide, or <i>Refrax</i>
Cement	Exist Flues Kilns (clinker-end)	<i>Inconel, Resistat, Silicon Carbide or Refrax</i> <i>Radiamatic</i>
Ceramics	Kilns Dryers Vitreous Enameling	<i>Siltramic</i> and Silicon Carbide, <i>Refrax</i> or <i>Radiamatic</i> <i>Resistat, Silicon Carbide, Refrax</i> <i>Inconel, Resistat, Silicon Carbide, Refrax</i> or <i>Radiamatic</i>
Chemical		In general, the Stainless Steels are satisfactory for many applications The number and complexity of chemical applications make it difficult to express recommendations under abridged terms.
Food	Baking Ovens Char Kilns--Sugar Cooking Fruits and Vegetables	Carbon Steel Carbon Steel Stainless Steel
Gas	Producer Gas Water Gas: Carburetor Superheater Tar Still	<i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> Carbon Steel
Glass	Foreheaths & Feeders Lehrs Open Hearth Roof Tanks Tank Flues	Platinum or <i>Radiamatic</i> <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> LT-1 <i>Alumina, Siltramic</i> or <i>Radiamatic</i> <i>Inconel</i> or <i>Resistat</i>
Petroleum	Bridgwall Dewaxing Fractionating Column Reaction Chambers Thermal Catalytic Units Towers Transfer Lines Sulphur Burner	<i>Inconel</i> or <i>Resistat</i> Stainless or Carbon Steel Stainless or Carbon Steel LT-1
Power	Boiler Tubes To 982°C (1800°F) Flue Gas Preheaters Steam Lines Water Lines	310 or 44G Stainless Steel <i>Resistat</i> <i>Resistat</i> 316, 347 Stainless Steel or Chrome Moly Steel Carbon Steel
Miscellaneous	Asphalt Mixing Incinerators: Up to 1093°C (2000°F) Over 1093°C (2000°F)	Carbon Steel <i>Inconel, Resistat</i> or <i>Kanthal</i> <i>Siltramic</i> and Silicon Carbide or <i>Refrax</i>

APENDICE 5.

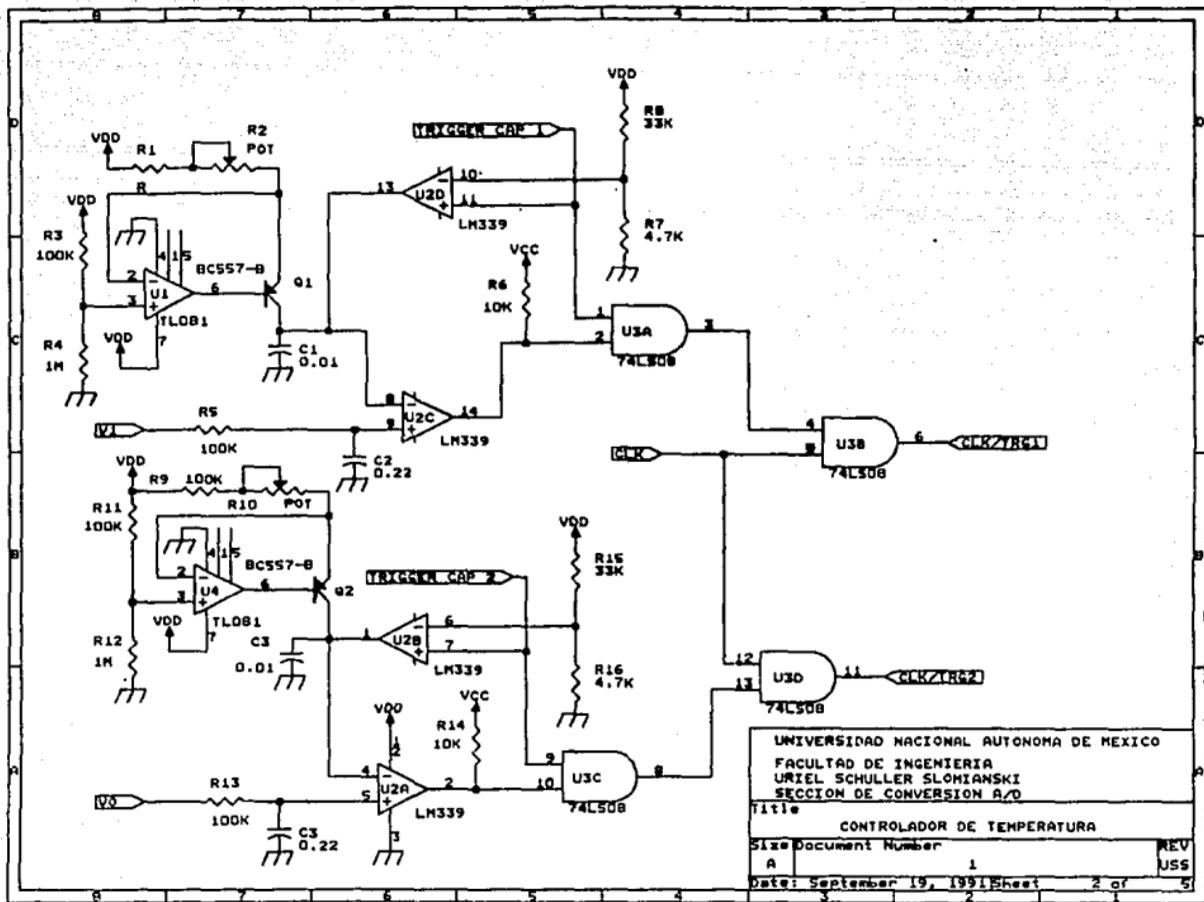
DIAGRAMAS ESQUEMATICOS DE LOS CIRCUITOS

Esta sección presenta los diagramas de diseño del sistema, se encuentran divididos por secciones dependiendo de la fase de la que se trata.

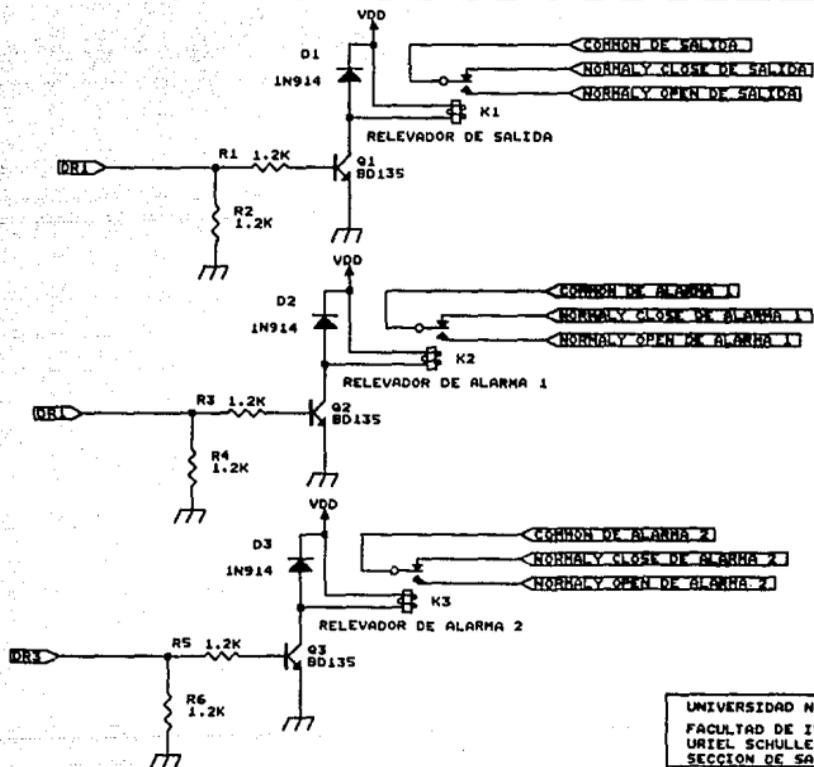


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 URIEL SCHULLER SLOMIANSKI
 TARJETA DEL FRENTE - DISPLAY Y TECLADO

TITULO	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	
SIZE	Document Number	REV
B	2	USS
Date	September 19, 1980	Sheet 3 of 5

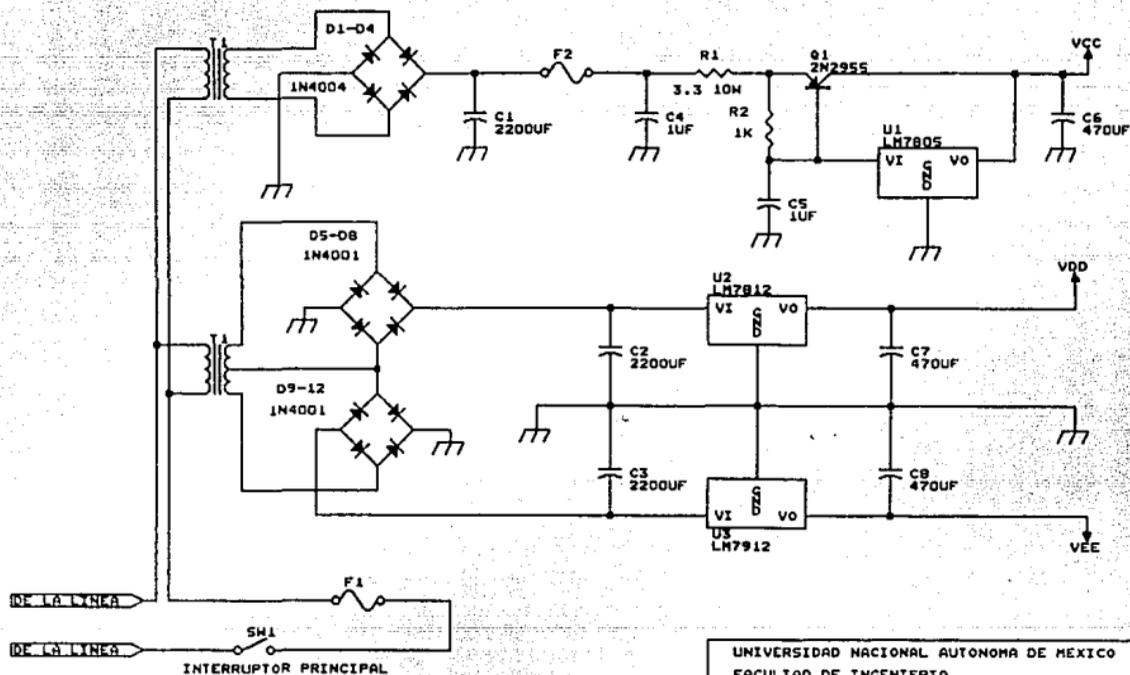


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
URIEL SCHULLER SLOMIANSKI		
SECCION DE CONVERSION A/D		
Title		
CONTROLADOR DE TEMPERATURA		
Size	Document Number	REV
A	1	USS
Date:	September 19, 1991	Sheet 2 of 5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
 FACULTAD DE INGENIERIA.
 URIEL SCHULLER SLOMIANSKI
 SECCION DE SALIDA.

Title		
CONTROLADOR DE TEMPERATURA		
Size Document Number		
A	FIGURA: 11	REV USS
Date: October 6, 1991	Sheet	1 of 1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 URIEL SCHULLER SLOHIANSKI
 FUENTE DE PODER

Title
 CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Sig. Document Number
 0 1

Date: November 8, 1991 Sheet 4 of 5

REV
 JSS

APENDICE 6.

INSTRUCCIONES DEL MICROPROCESADOR Z80

A continuación se listan todas las instrucciones del microprocesador Z80 CPU clasificadas por orden de alfabético. El código de máquina aparece a continuación, se agrupan por tipo de operación.

- Sumas con carry
 - ADC A,(HL) = 8Eh
 - ADC A,(IX+dd) = DD8Eddh
 - ADC A,(IY+dd) = FD8Eddh
 - ADC A,r = 8{1r}h
 - ADC A,nn = CEnnh
 - ADC HL,BC = ED4Ah
 - ADC HL,DE = ED5Ah
 - ADC HL,HL = ED6Ah
 - ADC HL,SP = ED7Ah
- Sumas sin carry
 - ADD A,(HL) = 86h
 - ADD A,(IX+dd) = DD86ddh
 - ADD A,(IY+dd) = FD86ddh
 - ADD A,r = 8{0r}h
 - ADD A,nn = C6nnh
 - ADD HL,BC = 09h
 - ADD HL,DE = 19h
 - ADD HL,HL = 29h
 - ADD HL,SP = 39h
 - ADD IX,BC = DD09h
 - ADD IX,DE = DD19h
 - ADD IX,IX = DD29h
 - ADD IX,SP = DD39h

- ADD IY,BC = FD09h
- ADD IY,DE = FD19h
- ADD IY,IY = FD29h
- ADD IY,SP = FD39h
- Operación AND Lógica con el Acumulador
 - AND (HL) = A6h
 - AND (IX+dd) = DDA6ddh
 - AND (IY+dd) = FDA6ddh
 - AND r = A{0r}h
 - AND nn = E6nnh
- Pruebas de Bits Específicos.
 - BIT b,(HL) = CB{01b110}h
 - BIT b,r = CB{01br}h
 - BIT b,(IX+dd) = DDCBdd{01b110}h
 - BIT b,(IY+dd) = FDCBdd{01b110}h
- LLamadas a Subrutinas
 - CALL C,nnnn = DCnnnnh
 - CALL M,nnnn = FCnnnnh
 - CALL NC,nnnn = D4nnnnh
 - CALL NZ,nnnn = C4nnnnh
 - CALL P,nnnn = F4nnnnh
 - CALL PE,nnnn = ECnnnnh
 - CALL PO,nnnn = E4nnnnh
 - CALL Z,nnnn = CCnnnnh
 - CALL nnnn = CDnnnnh
- Complemento de la bandera de carry.
 - CCF = 3Fh
- Comparación del Acumulador con un Registro Dado
 - CP (HL) = BEh
 - CP (IX+dd) = DDBEdh

- $CP (IY+dd) = FDBEdh$
- $CP r = B\{1r\}h$
- $CP DEC = EDA9h$
- $CP nn = FEhh$
- Comparación por Bloques
 - $CPDR = EDB9h$
 - $CPIR = EDB1h$
 - $CPI = EDA1h$
- Complemento del Acumulador
 - $CPL A = 2Fh$
- Ajuste decimal del Acumulador
 - $DAA = 27h$
- Decrementar Registro
 - $DEC (HL) = 35h$
 - $DEC (IX+dd) = DD35ddh$
 - $DEC (IY+dd) = FD35ddh$
 - $DEC BC = 0Bh$
 - $DEC DE = 1Bh$
 - $DEC HL = 2Bh$
 - $DEC IX = DD2Bh$
 - $DEC IY = FD2Bh$
 - $DEC SP = 3Bh$
 - $DEC r = \{00r110\}h$
- Deshabilitar Interrupciones
 - $DI = F3h$
- Decremento de B y Brinco Si No Es Cero
 - $DJNZ e = 10\{e-2\}h$
- Habilita Interrupciones
 - $EI = FBh$
- Intercambio de los Contenidos de los Registros

- EX (SP),HL = E3h
- EX (SP),IX = DDE3h
- EX (SP),IY = FDE3h
- EX AF,AF' = 08h
- EX DE,HL = EBh
- EXX = D9h
- Alto Hasta Percibir Interrupción o Reset
 - HALT = 76h
- Selección del Modo de Interrupción
 - IM0 = ED46h
 - IM1 = ED56h
 - IM2 = ED5Eh
- Carga de Datos de los Periféricos
 - IN A,(nn) = DBnnh
 - IN C(HL) = 34h
 - IN C(IX+dd) = DD34ddh
 - IN C(IY+dd) = FD34ddh
 - IN r,(C) = ED{01r000}h
- Carga de Datos de los Periféricos por Bloques
 - INDR = EDBAh
 - IND = EDAAh
 - INIR = EDB2h
 - INI = EDA2h
 - Incrementar Registro
 - INC BC = 03h
 - INC DE = 13h
 - INC HL = 23h
 - INC IX = DD23h
 - INC IY = FD23h
 - INC SP = 33h

- $INC\ r = \{00r100\}h$

- Brincos de Dirección

- $JP\ (HL) = E9h$

- $JP\ (IX) = DDE9h$

- $JP\ (IY) = FDE9h$

- $JP\ C,nnnn = DAxxxxh$

- $JP\ M,nnnn = FAxxxxh$

- $JP\ NC,nnnn = D2xxxxh$

- $JP\ NZ,nnnn = C2xxxxh$

- $JP\ P,nnnn = F2xxxxh$

- $JP\ PE,nnnn = EAxxxxh$

- $JP\ PO,nnnn = E2xxxxh$

- $JP\ Z,nnnn = CAxxxxh$

- $JP\ nnnn = C3xxxxh$

- $JR\ C,e = 38\{e-2\}h$

- $JR\ NC,e = 30\{e-2\}h$

- $JR\ NZ,e = 20\{e-2\}h$

- $JR\ Z,e = 28\{e-2\}h$

- $JR\ e = 18\{e-2\}h$

- Carga de Datos

- $LD\ (BC),A = 02h$

- $LD\ (DE),A = 12h$

- $LD\ (HL),r = 7\{0r\}h$

- $LD\ (HL),nn = 36nnh$

- $LD\ (IX+dd),r = DD7\{0r\}ddh$

- $LD\ (IX+dd),nn = DD36ddnnh$

- $LD\ (IY+dd),r = FD7\{0r\}00h$

- $LD\ (IY+dd),nn = FD36ddnnh$

- $LD\ (nnnn),HL = 22nnnnh$

- $LD\ (nnnn),BC = ED43nnnnh$

- LD (nnnn),DE = ED53nnnnh
- LD (nnnn),IX = DD22nnnnh
- LD (nnnn),IY = FD22nnnnh
- LD (nnnn),SP = ED73nnnnh
- LD (nnnn),A = 32nnnnh
- LD A,(BC) = 0Ah
- LD A,(DE) = 1Ah
- LD A,(HL) = 7Eh
- LD A,(nnnn) = 3Annnnh
- LD A,I = ED57h
- LD A,R = ED5Fh
- LD BC,(nnnn) = ED4Bnnnnh
- LD BC,nnnn = 01nnnnh
- LD DE,(nnnn) = ED5Bnnnnh
- LD DE,nnnn = 11nnnnh
- LD HL,(nnnn) = 2Annnnh
- LD HL,nnnn = 21nnnnh
- LD I,A = ED47h
- LD IX,(nnnn) = DD2Annnnh
- LD IX,nnnn = DD21nnnnh
- LD IY,(nnnn) = FD2Annnnh
- LD IY,nnnn = FD21nnnnh
- LD R,A = ED4Fh
- LD SP,(nnnn) = ED7Bnnnnh
- LD SP,HL = F9h
- LD SP,IX = DDF9h
- LD SP,IY = FDF9h
- LD SP,nnnn = 31nnnnh
- LD r,(IX+dd) = DD{01r110}ddh
- LD r,(IY+dd) = FD{01r110}ddh

- $LD\ r,(HL) = \{01r110\}h$
- $LD\ r,r' = \{01rr'\}h$
- $LD\ r,nn = \{00r110\}nnh$
- Carga por bloques
 - $LDDR = EDB8h$
 - $LDD = EDA8h$
 - $LDIR = EDB0h$
 - $LDI = EDA0h$
- Dos Complemento del Acumulador
 - $NEG = ED44h$
- Operación Nula
 - $NOP = 00h$
- Operación OR lógica con el Acumulador
 - $OR\ (HL) = B6h$
 - $OR\ (IX+dd) = DDB6ddh$
 - $OR\ (IY+dd) = FDB6ddh$
 - $OR\ r = B\{0r\}h$
 - $OR\ nn = F6nnh$
- Manda Datos a los Periféricos
 - $OUT\ (C),r = ED\{01r001\}h$
 - $OUT\ (nn),A = D3nnh$
- Manda Datos a los Periféricos por Bloques
 - $OTDR = EDBBh$
 - $OTIR = EDB3h$
 - $OUT\ D = EDABh$
 - $OUT\ I = EDA3h$
- Carga de Registros con Datos del Stack
 - $POP\ AF = F1h$
 - $POP\ BC = C1h$
 - $POP\ DE = D1h$

- POP HL = E1h
- POP IX = DDE1h
- POP IY = FDE1h
- Guarda Contenido de Registros en el Stack
 - PUSH AF = F5h
 - PUSH BC = C5h
 - PUSH DE = D5h
 - PUSH HL = E5h
 - PUSH IX = DDE5h
 - PUSH IY = FDE5h
- Resetea un Bit Específico de un Registro Dado
 - RES b,(HL) = CB{10b110}h
 - RES b,r = CB{10br}h
 - RES b,(IX+dd) = DDCBdd{10b110}h
 - RES b,(IY+dd) = FDCBdd{10b110}h
- Retorna de Subrutinas
 - RET C = D8h
 - RET M = F8h
 - RET NC = D0h
 - RET NZ = C0h
 - RET N = ED45h
 - RET PE = E8h
 - RET PO = E0h
 - RET P = F0h
 - RET Z = C8h
 - RET = C9h
- Retorno de Interrupción
 - RETI = ED4Dh
- Rotaciones de los Registros
 - RL (HL) = CB16h

- $RL (IX + dd) = DDCBdd16h$
- $RL (IY + dd) = FDCBdd16h$
- $RL A = 17h$
- $RL BCD = ED6Fh$
- $RLC (HL) = CB06h$
- $RLC (IX + dd) = DDCBdd06h$
- $RLC (IY + dd) = FDCBdd06h$
- $RLC A = 07h$
- $RLC r = CB0\{0r\}h$
- $RL r = CB1\{0r\}h$
- $RR (HL) = CB1Eh$
- $RR (IX + dd) = DDCBdd1Eh$
- $RR (IY + dd) = FDCBdd1Eh$
- $RRA = 1Fh$
- $RR BCD = ED67h$
- $RRC (HL) = CB0Eh$
- $RRC (IX + dd) = DDCBdd0Eh$
- $RRC (IY + dd) = FDCBdd0Eh$
- $RRC A = 0Fh$
- $RRC r = CB0\{1r\}h$
- $RR r = CB1\{1r\}h$
- **Brinco Incondicional a Dirección Específica (Reinicio Caliente)**
 - $RST p = \{11p111\}h$
- **Resta con Carry del Acumulador**
 - $SBC A, (HL) = 9Eh$
 - $SBC A, (IX + dd) = DD9Eddh$
 - $SBC A, (IY + dd) = FD9Eddh$
 - $SBC A, r = 9\{1r\}h$
 - $SBC A, nn = DEnnh$
 - $SBC HL, BC = ED42h$

- SBC HL,DE = ED52h
- SBC HL,HL = ED62h
- SBC HL,SP = ED72h
- Enciende Bandera de Carry
 - SCF = 37h
- Enciende un Bit Especifico de un Registro Dado
 - SETT b,(HL) = CB{11b110}h
 - SETT b,r = CB{11br}h
 - SETT b,(IX+dd) = DDCBdd{11b110}h
 - SETT b,(IY+dd) = FDCBdd{11b110}h
- Rotaciones Con Carga de Bit
 - SLA (HL) = CB26h
 - SLA (IX+dd) = DDCBdd26h
 - SLA (IY+dd) = FDCBdd26h
 - SLA r = CB2{0r}h
 - SRA (HL) = CB2Eh
 - SRA (IX+dd) = DDCBdd2Eh
 - SRA (IY+dd) = FDCBdd2Eh
 - SRA r = CB2{1r}h
 - SRL (HL) = CB3Eh
 - SRL (IX+dd) = DDCBdd3Eh
 - SRL (IY+dd) = FDCBdd3Eh
 - SRL r = CB3{1r}h
 - Resta Sin Carry del Acumulador
 - SUB (HL) = 96h
 - SUB (IX+dd) = DD96ddh
 - SUB (IY+dd) = FD96ddh
 - SUB r = 9{0r}h
 - SUB nn = D6nnh
- Operación OR Exclusiva con el Acumulador

- XOR (HL) = AEh
- XOR (IX + dd) = DDAEdhh
- XOR (IY + dd) = FDAEdhh
- XOR r = A{1r}h
- XOR nn = EEEnnh

Observaciones:

Las letras utilizadas corresponden a los siguientes códigos.

- r, r'
- Bh = 0 = 000
- Ch = 1 = 001
- Dh = 2 = 010
- Eh = 3 = 011
- Hh = 4 = 100
- Lh = 5 = 101
- Ah = 7 = 111
- normalmente el 6 (110) es utilizado para (HL).
- nn = Valor en Hexadecimal.
- nnnn = Dirección en Hexadecimal por lo general esta es una etiqueta.
- dd = desplazamiento de IX ó IY es un dato que puede ser de 0 a 127 para desplazamientos positivos y de 128 hasta 255 para negativos.
- b = Número de bit en binario desde 0 (000) hasta 7 (111).
- e = Desplazamiento en un brinco. Por lo general esta es una etiqueta.
- Los datos entre llaves {} están en binario.

BIBLIOGRAFIA GENERAL.

Libros de Texto

- ARCILA, W., VIDAL, L. Apuntes de Análisis de Circuitos Eléctricos I y II. Facultad de Ingeniería, UNAM 1985.
- BEITMAN, G. Material para el Curso de Microprocesadores. Dpto. Cómputo. ITAM 1985.
- BIBBERRO, R.J. Microprocessors in Instruments and Control. USA John Wiley & Sons, 1977.
- BORRAS, H., IRIARTE R. Apuntes de Probabilidad y Estadística. Facultad de Ingeniería, UNAM 1985.
- BOYLESTAD, R. NASHELKSY, L. Electrónica, Teoría de Circuitos. Prentice Hall 1983 México.
- BURDEN R., FAIRES D. Numerical Analysis, Ed. Wadsworth International USA 1981.
- CANALES, R. BARBERA, R. Análisis de Sistemas Dinámicos y CONTROL AUTOMÁTICO. México, LIMUSA 1a. Ed. 1977.
- DESHPANDE, P. BASH, R.H. Elements of Computer Process Control With Advanced Control Applications. USA, Instrument Society of America 1981.
- GRAHAM, L. Computadoras Personales, Guía del Usuario. Osborne McGraw Hill 1985, México.
- HOLMAN, J.P. Métodos Experimentales Para Ingenieros. México. Mc. Graw Hill 1984.
- IRIARTE, R. BORRAS, H. Apuntes de Métodos Numéricos. Facultad de Ingeniería UNAM 1984.
- JOHNSTON R.L. Numerical Methods, A Software Approach, John Wiley & Sons. Canada, 1982.
- KUO, C. B. Digital Control Systems. USA, 1 ed. HRW 1980.
- Mediciones en Ingeniería (F.I. TA165)
- MORRIS, M. Lógica Digital y Diseño de Computadores. México Prentice-Hall 1985.
- NORTON, H.N. Sensores y Analizadores. Ed. Gustavo Gili Barcelona 1982.
- PHILIPHS. NICHOLS & NICHOLS. The micro
- POWELL, Robert L. "Thermocouple Thermometry." (F.I. QC271-A6)
- SCHILLING, D. BELOVE, C. Electronic Circuits Discrete and Integrated. McGraw-Hill 1985 Singapore.
- SIEWIOREK, D. BELL, G. NEWELL, A. Computer Structures: Principles and Examples. Tokyo, Mc. Graw Hill 1984.
- Temperatura, Obras Colectivas, AIP (F.I. QC271-A6).

- Temperature, Its Measurement and Control, ASTM (F.I. QC271/A6)
- OGATA, K. Ingeniería de Control Moderna. México Prentice-Hall 1982.
- OSBORNE, A. Introducción a las Microcomputadoras Vol I. Osborne McGraw-Hill, 1987 España.
- TEDESCHI, F. COHEN, R. 101 Projects for the Z80. 1a ed. TAB Booking 1983.
- WIATROSKI, C., HOUSE, Ch. Logic Circuits and Microcomputer Systems. Singapore, Mc.Graw Hill, 1985.
- ZAKS, R. LESEA, A. Microprocessor Interfacing Techniques. 3ed. 1979 SYBEX.

Manuales y Catálogos.

- Linear Applications. National 1987 USA.
- STP 470 - Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement. American Society for Testing and Materials, ASTM, Philadelphia 1970.
- Thermocouples. Assemblies, Components & Wire. Honeywell Proces Control Division. USA I-1987
- The Linear and Interface Integrated Circuits Data Book, MOTOROLA INC. 1985 USA.
- The TTL Logic, Standard TTL, Schottky, Low-Power Schottky Data Book. Texas Instruments 1988.
- The MOS Memory Data Book. Texas Instruments 1986.
- The Linear Circuits Data Book Vols I, II & III. Texas Instruments 1989.
- The TMPZ Microprocessors Family Data Book, Toshiba 1989. Usa
- The Z80-CPU Manual, Zilog 1977
- Control Engineering. Mayo 1988. Vol 35. No 5.
- UDC 3000. Universal Digital Controller. Product Manual. Honeywell Proces Control Division Fort Washington, PA, II 1988.
- UDC 500. Universal Digital Controller. Advance Information. Honeywell Proces Control Division Fort Washington, PA, VIII 1983.TTL
- High - Speed Nickel A Resistance Thermometer Bulbs, Honeywell Proces Control Division Fort Washington , PA. IV/83
- Platinum Resistance Thermometer Detector. Honeywell Proces Control Division Fort Washington , PA. IV/83
- The IBM Personal Computer Hardware Reference Library. IBM USA 1984.
- LOTUS 2.0, Users Manual.
- AUTOCAD REL. 10.0. Reference Manual.AUTODESK, INC. 1989 California U.S.A.
- Introducción al FRAMEWORK II, Osborne Mc.Graw Hill 1988.
- Ventura Publisher Training Guide, XEROX 1988 USA.
- Starter Kid Guía del Usuario, Micro Calli 1988 México

EQUIPO UTILIZADO.

- **Computadora PC compatible con disco duro de 20MB.**
 - 640 KB de memoria
 - Monitor EGA
 - Puerto paralelo para impresora
 - 2 puertos seriales (mouse y comunicaciones)
- **Impresora de matriz de puntos**
- **Impresora laser cortesía de ORT MEXICO.**
- **Scanner HP Laserjet cortesía de ORT MEXICO.**
- **Micro kit educacional Z80, de Microcalli, expandido y adaptado para poder grabar memorias EPROM 2732 con él.**
- **Grabador de memorias EPROM Modular Circuit Technology**
- **Borrador de memorias Datarase**
- **Analizador de Estados Lógicos Hewlett Packard cortesía del Centro de Instrumentos de la UNAM**
- **Osciloscopios cortesía del Centro de Instrumentos de la UNAM, Eltec, S.A., Cibernética, S.A..**

SOFTWARE:

- **WORDSTAR 4.2** .-Procesador de texto.
- **PCTOOLS 4.21**.- Utilería.
- **FRAMEWORK II Y III**.- Paquete integrado.
- **SIMZ80** .-Simulador de microprocesador Z80.
- **AVSIMZ80** .- Simulador de Microprocesador Z80.
- **ASMZ80** .- Cross Assembler PC-Z80
- **X80**.- Compilador de Ensamblador
- **LOTUS**.- Hojad de cálculo.
- **LOTUS MAGELLAN**.- Manejador de utilerías.
- **SMART WORK**.- Ingeniería asistida por computadora.
- **TANGO**.- Ingeniería asistida por computadora.
- **ORCAD**.- Diseño asistido por computadora.
- **PASCAL**.- Lenguaje.
- **SENDZ80**.- Comunicaciones al microkit.
- **MIRROR**.- Comunicaciones.
- **SIDEQUICK**.- Utilería.
- **HARDVARD GRAPHICS**.- Diseño asistido por computadora.
- **VENTURA 1.1**.- Desktop Publishing.
- **FLOW CHART**.- Diseño asistido por computadora.
- **READ RIGHT (OCR)**.- Reconocimiento de caracteres por scanner.
- **SCANNAL**.- Digitalización de imágenes.
- **PAINTBRUSH**.- Dibujo asistido por computadora.